32

BIBLIOTECA SCIENTIFICA INTERNAZIONALE

VOL. XVII.°

Digitized by Google

Biblioteca Scientifica Internazionale

SI È PUBBLICATO:

Blaserna. La teoria del suono	L. 5 —
Balfour Stewart. L'Energia — sue forme — sue leggi — sua conservazione	» 5 —
Maudsley. La responsabilità nelle malattie mentali	» 6 —
Schutzenberger. Le Fermentazioni	» 6 —
Vogel. Gli effetti chimici della luce e la fotografia nelle loro applicazioni alla scienza, all'arte, all'industria	» 6 —
Jevons. La Moneta ed il meccanismo dello scambio	» 6 —
Draper. Il conflitto fra la Religione e la Scienza	» 6 —
Dwight-Whitney. La vita e lo sviluppo del linguaggio	» 6 —
Berthelot. La sintesi chimica	» 6 —
Cooke. La nuova chimica	» 6 —
Vignoli. Della legge fondamentale della intelligenza nel regno animale	» 5 —
Tyndall. Nuvole, fiumi, ghiaccio e ghiacciaj	» 6 —
Quatrefages. La Specie umana	» 7 —
Secchi A. Le Stelle, saggio di astronomia siderale, con molte incisioni e 9 tavole colorate	» 10 —
Dumont. Il piacere ed il dolore, teoria scientifica della sensibilità	» 6 —
Lombroso Cesare. Pensiero e meteore, note di un alienista	» 6 —
Legatura all'inglese ogni volume	» 1 50

DI PROSSIMA PUBBLICAZIONE:

Bernstein. I cinque sensi dell'uomo	1 Vol.
Fuchs. Vulcani e Terremoti	1 »
Messedaglia. La circolazione monetaria	1 »
Id. Il Credito	1 »
Cossa prof. L. Il Lavoro e le sue trasformazioni economiche	1 »
Spencer. La Sociologia	1 »
Canestrini. La teoria di Darwin	1 »
Wurtz. Atomi e atomicità	1 »
Böhmert. La partecipazione al guadagno e all'industria	1 »

Digitized by Google

Inv. 697
LIA 035795
PREGIO L 578
N 706

STUDII

DI

ANALISI SPETTRALE

DI

J. NORMAN LOCKYER F.R.S.

MEMBRO CORRISPONDENTE DELL' ISTITUTO DI FRANCIA,
ECC., ECC.

UNIVERSITÀ DI PAVIA
ISTITUTO CHIMICO
N. 697 Inventario
N. — Ingresso
N. Inv. C2-18 posizione

MILANO
FRATELLI DUMOLARD
1878.

Digitized by Google

Proprietà letteraria.

MILANO, COI TIPI DI G. GOLIO

Digitized by Google

INDICE DELLE MATERIE

CAPITOLO PRIMO.

ONDE . . . . . Pag. 1
§ 1. Preliminari . . . . . » 1
§ 2. Onde d'acqua . . . . . » 4
§ 3. Onde sonore . . . . . » 8
§ 4. Onde luminose . . . . . » 16
§ 5. La teoria dell'etere . . . . . » 21
§ 6. Lunghezza d'onda. . . . . » 24
§ 7. Collisione della materia coi movimenti dell'etere . » 25
§ 8. Azione del prisma. . . . . » 27
§ 9. Riassunto . . . . . » 31
§ 10. Assorbimento della luce . . . . . » 35
§ 11. I fondamenti dell'analisi spettrale . . . . . » 36

CAPITOLO II.

METODI DI DIMOSTRAZIONE ED ESPERIENZE DA LABORATORIO . Pag 42
§ 1. Uso della lente . . . . . » 43
§ 2. Fenomeni di radiazione . . . . . » 51
§ 3. Fenomeni d'assorbimento . . . . . » 59

CAPITOLO III.

SULLA FOTOGRAFIA DEGLI SPETTRI . . . . . Pag. 70
§ 1. Nièpce, Herschel e Draper . . . . . » 70
§ 2. I primi veri spettri. . . . . » 73

Digitized by Google

§ 3. Lo spettro ultravioletto . . . . . Pag. 71
§ 4. Lavoro del dottor Miller . . . . . » 79
§ 5. Carte del signor Mascart . . . . . » 83
§ 6. Fotografia dallo spettro solare di Rutherfurd . . » 84
§ 7. Uso della fessura composta . . . . . » 86
§ 8. Mie disposizioni . . . . . » 90
§ 9. Risultati . . . . . » 91
§ 10. Spettro solare . . . . . » 95
§ 11. Fotografia stellare . . . . . » 98
§ 12. L'opera del futuro . . . . . » 98

CAPITOLO IV.

ATOMI E MOLECOLE CONSIDERATI COLLO SPETTROSCOPIO . . Pag. 102
§ 1. Radiazione . . . . . » 108

CAPITOLO V.

RIGHE LUNGHE E BREVI . . . . . Pag. 132
§ 1. Prime osservazioni . . . . . » 132
§ 2. Prove ricavate dal sole . . . . . » 134
§ 3. Ulteriori ricerche . . . . . » 138

CAPITOLO VI.

DELLO SPETTRO DEI SALI . . . . . Pag. 141
§ 1. Piombo . . . . . » 142
§ 2. Bario e stronzio . . . . . » 143
§ 3. Magnesio . . . . . » 144
§ 4. Sodio e litio . . . . . » 145
§ 5. Spettro delle fiamme e delle deboli scariche elettriche » 147
§ 6. Simiglianza degli spettri dei sali osservati nell'aria » 149

CAPITOLO VII.

DELLA DISASSOCIAZIONE . . . . . Pag. 153
§ 1. L'opera del chimico . . . . . » 154
§ 2. Azione del calore . . . . . » 156
§ 3. Elettricità . . . . . » 158
§ 4. Lo spettroscopio e la disassociazione . . . . . » 160
§ 5. Spettro dei corpi composti . . . . . » 165
§ 6. Primo lavoro di Mitscherlich . . . . . » 167
§ 7. Clifton e Roscoe . . . . . » 168

Digitized by Google

§ 8. Seconda memoria di Mitscherlich . . . . . *Pag.* 170
§ 9. Argomenti tratti dalle righe lunghe e brevi. . . » 171
§ 10. Proposizione generale . . . . . » 171
§ 11. Il problema della disassociazione dei così detti elementi » 175

CAPITOLO VIII.

TENTATIVO DI UN' ANALISI SPETTRALE QUANTITATIVA. . . *Pag.* 182
§ 1. Introduzione . . . . . » 182
§ 2. Primi esperimenti . . . . . » 191
§ 3. Seconda serie d'esperimenti . . . . . » 196
§ 4. Fenomeni addizionali . . . . . » 198
§ 5. Esperimenti con grandi variazioni . . . . . » 200
§ 6. Leghe d'oro e rame . . . . . » 202
§ 7. L'opera del futuro . . . . . » 209

CAPITOLO IX.

SULLA COINCIDENZA DELLE RIGHE SPETTRALI . . . . *Pag.* 211
§ 1. Ordinaria presenza d'impurità . . . . . » 211
§ 2. Proposizioni generali intorno alle coincidenze . . » 213
§ 3. Eliminazione delle righe d'impurità . . . . » 215

CAPITOLO X.

ELEMENTI CHE SI TROVANO NEL SOLE . . . . . *Pag.* 219
§ 1. Lavoro di Kirchhoff . . . . . » 219
§ 2. Angström e Thalén . . . . . » 222
§ 3. Studio delle righe realmente invertite . . . . » 223
§ 4. Risultati della ricerca preliminare . . . . . » 225
§ 5. Indagine susseguente . . . . . » 227
§ 6. Ossservazioni di Mitscherlich . . . . . » 230

Digitized by Google

Digitized by Google

INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

TAVOLE.

Tavola	I. Le righe H e K nello spettro solare (da lunghezza d'onda 3900 a 4000) . . .	*Frontispizio*	
»	II. Tavola colorata rappresentante diversi spettri	*Di contro a p.*	41
»	III. Confronto del titanio e del vanadio (4100-4300)	»	» 86
»	IV. Confronto del ferro col sole e del cobalto col sole (3890-4050 e 3,890-4,120) . .	»	» 91
»	V. Parte dello spettro del carbonio (4115-4245)	»	» 116
»	VI. Assorbimento del vapore di manganese (3980-4080)	»	» 120
»	VII. Confronto degli spettri dell'alluminio, del calcio e della meteorite di Lenarto (3930-4300)	»	» 213
»	VIII. Righe lunghe e brevi nello spettro solare	»	» 222

Digitized by Google

INCISIONI IN LEGNO

IG. 1. Sovrapposizione di due sistemi di onde . . . . *Pag.* 5
» 2. Formazione delle onde . . . . . » 6
» 3. Metodo grafico per osservare il modo di vibrare di un corista . . . . . » 7
» 4. Strati di aria compressa e rarefatta prodotti da una sorgente di suono . . . . . » 8
» 5. Propagazione di onde sonore in un cilindro . . . » 9
» 6. Onde sonore . . . . . » 10
» 7. Metodo di Weinhold per dimostrare la rarefazione e la condensazione . . . . . » 11
» 8. » » » » » 12
» 9. » » » » » 13
» 10. Onde sonore di varie lunghezze ed ampiezze. . . » 14
» 11. Sistema di onde . . . . . » 23
» 12. Il prisma . . . . . » 28
» 13. Dispersione normale del vetro . . . . . » 29
» 14. Spettroscopio analizzante . . . . . » 45
» 15. Copia di una fotografia dello spettro della scintilla fra poli di zinco e cadmio, dove si vede la separazione dei tre spettri . . . . . » 46
» 16. Immagine di un arco orizzontale di vapore di sodio, projettato sopra una fessura verticale . . . . » 47

Digitized by Google

Fig. 17. Righe lunghe e brevi dello stronzio e del calcio . . *Pag.* 43
» 18. Disposizione della lampada elettrica per dimostrare l'esistenza delle righe lunghe e brevi . . . . . » 49
» 19. Pianta e sezione della capsula adoperata pei sali. . » 53
» 20. Capsula d'alluminio, posta nello spinterometro . . » 54
» 21. Apparecchio per osservare lo spettro delle soluzioni . » 55
» 22. Esame dello spettro di una soluzione, soffiando la sostanza disciolta in una lampada di Bunsen . . . » 58
» 23. Diagramma che mostra le varie specie di assorbimento e l'assorbimento caratteristico di alcuni corpi . . » 60
» 24. Assorbimento di strati di diversa grossezza di materia colorante di litmo . . . . . » 62
» 25. Apparecchio per osservare l'assorbimento dei vapori metallici . . . . . » 63
» 26. Apparecchio per osservare gli spettri d'assorbimento dei metalli ridotti in vapore, dalla fiamma ossidrica » 65
» 27. Copia ridotta della fotografia dello spettro solare completo presa da Becquerel nel 1842 . . . . . » 75
» 28. Spettro solare colle lunghezze d'onda, dove si vedono le righe (da L ad R) determinate dal signor Mascart » 75
» 29. Le righe H nell'estremità turchina dello spettro solare, da una fotografia dell'autore . . . . . » 77
» 30. Disposizione del dott. Miller . . . . . » 80
» 31. Diagrammi del dott. Miller, rappresentanti gli spettri ultra-violetti di alcuni elementi, nell'atmosfera . . » 81
» 32. Copie delle carte del dott. Miller dello spettro ultra-violetto del platino in varii gas, dove si vedono le lunghezze dello spettro solare e dell'ultra-violetto . . » 82
» 33. Fessura che permette di prendere cinque fotografie sulla medesima lastra, usando successivamente diverse porzioni. . . . . » 88
» 34. Veduta generale degli apparecchi per la fotografia spettrale . . . . . » 89
» 35. Altra veduta degli apparecchi per la fotografia spettrale, dove si vede la camera . . . . . » 91
» 36. Disposizione per ottenere il solo spettro solare . . » 93
» 37. Disposizione per ottenere righe lunghe e brevi . . » 93

Digitized by Google

Fig. 38. Disposizione per ottenere le righe e paragonarle collo spettro solare . . . . . *Pag.* 93
» 39. Diagramma che mostra l'effetto dell'azione fotografica sui sali d'argento . . . . . » 100
» 40. Copia della fotografia presa dal prof. Tait della scintilla nell'aria . . . . . » 120
» 41. } Disposizione ipotetica delle molecole d'ossigeno prima
» 42. } e dopo il passaggio di una scarica elettrica . . » 121
» 43. Copia dello spettro del cadmio, secondo il dott. Miller, dove si vedono i *puntini* . . . . . » 133
» 44. Ripetizione della figura 15 . . . . . » 136
» 45. Spettro del cadmio e del piombo. . . . . » 135
» 46. Spettri del cloruro del bromuro e del joduro di stronzio » 173
» 47. L'estremità turchina dello spettro del calcio in diverse condizioni. . . . . » 177
» 48. Sostegno per l'esame dei campioni . . . . . » 201
» 49. Letture micrometriche. Leghe di zinco e cadmio . . » 206
» 50. Leghe di oro e rame. Curva A . . . . . » 207
» 51. Leghe di oro e rame. Curva B . . . . . » 207

Digitized by Google

Digitized by Google

Dif.

Ref.

Digitized by Google

STUDII
DI ANALISI SPETTRALE

CAPITOLO PRIMO.

ONDE.

§ 1. — *Preliminari.*

L'opera del vero scienziato è un lavoro indefesso, per acquistare una più perfetta, e più profonda conoscenza del pianeta, sul quale è destinato a vivere, e dell'universo, nella cui immensità questo pianeta si perde. Per riuscire all'intento, non c'è altra via, che procedere colla maggior prudenza, e quindi colla maggior sicurezza, verso le nebulose, ed inesplorate regioni, che giacciono oltre il mondo conosciuto. Questa è opera scientifica. Nulla vi ha in essa nè di magico, nè di metafisico. Nè vi è una classe privilegiata di uomini, ai quali sia dato, più che ad altri, di rendersi più famigliari colle bellezze, e coi segreti della natura. Ciascun di noi, col proprio lavoro, e colla propria intelligenza, può, se vuole, ampliare il circolo almeno delle sue cognizioni, e rendere così l'universo sempre più bello, se non per gli altri, almeno per sè.

Tuttavia, si trova, di tanto in tanto, nella storia dell'umanità, una generazione speciale, che raccoglie una ricca messe

Digitized by Google

di questa più perfetta e più profonda conoscenza; e questo progresso generalmente è frutto di un piccolissimo germe.

Se ne danno parecchi esempii. Una volta, un olandese sperimentava con due lenti da occhiali, e produceva il telescopio; e, per l'invenzione di questo meraviglioso istrumento, si ampliava il campo del conosciuto, e del conoscibile. Un'altra volta, Isacco Newton, era in giardino, e vedeva cadere una mela; e il pensiero, che risvegliava nella sua mente questo semplice accidente, era il germe, che diede per frutto la teoria della gravitazione universale. Ogni passo di questa sorta ha più fortemente cementato l'universo, lo ha costituito un tutto sempre più perfetto, e ne ha posto in luce le meravigliose bellezze.

I tempi avvenire diranno, che, questa, o forse la prossima generazione, fu favorita, come quelle, che videro l'invenzione del telescopio, e l'immortale scoperta di Newton; poichè, come, per l'invenzione del telescopio, l'universo fu indefinitamente esteso; come, per la scoperta di Newton, si apprese, che le stesse energie agiscono dappertutto, nello stesso modo; così, ai giorni nostri, lo spettroscopio ci mostra, che dappertutto, nello stesso modo, agisce la stessa materia: per modo che, energia e materia, se non sono una stessa cosa, possono dirsi le pietre fondamentali dell'universo, in cui viviamo.

Quanto più nuova è una scienza, tanto più ponderati debbono essere i nostri passi. Epperò, nella più nuova di tutte, quella che ci mette in grado di risguardare da un punto di vista affatto nuovo la materia dovunque posta, l'investigatore deve raddoppiare di cautela: e quelli, che intendono di seguirlo, devono stare in guardia di ben assicurare il piede, ad ogni passo. Per nostra ventura, le leggi e i

Digitized by Google

fenomeni della natura hanno, nella loro varietà, una tale unità, e sono così squisitamente fra loro collegati, che, nello studio di ogni nuovo ramo di scienza, ci riesce possibile, di valerci di immagini tratte da scienze anteriori, o da fenomeni già famigliari: e questo è specialmente il caso, per la scienza, che ora prendiamo a considerare.

Così, possiamo cominciare, con alcune nozioni elementari, le quali, ben comprese, ci permetteranno di trarre da esse delle conclusioni, che saranno altrettanti passi avanzati.

Per mezzo degli uffici postali, della ferrovia, o dei telegrafi, abbiamo di continuo innanzi alla mente, l'idea, che vi è, in un luogo, un uomo, od una cosa, che manda: ed altrove, non importa se presso o molto lontano, vi è un uomo, od una cosa, che riceve; e che, fra essi vi è alcunchè, che permette alla cosa mandata, di passare da un luogo all'altro. In ciò pare che non vi sia scienza molto profonda, nè vi è difatti: ma queste considerazioni ci porgono l'occasione di fare un'importante distinzione. Nel caso di due ragazzi, che giuocano alla palla, gettandosela l'uno all'altro, abbiamo chi manda e chi riceve, e la cosa mandata passa materialmente, dal primo al secondo

Così di una merce, mandata per convoglio; ma non nel caso di un dispaccio telegrafico. Nell'ufficio telegrafico si possono vedere due apparecchi: l'uno *per ricevere*, e l'altro *per spedire*. Tra l'ufficio, dove supponiamo di trovarci, e quello con cui ci siamo posti in comunicazione, vi è un filo. Sappiamo, che nulla si manda lungo quel filo, nel modo, che il ragazzo manda la palla al suo compagno, o che il convoglio di merci trasporta la merce. Qui abbiamo, infatti, una condizione di moto, colla quale la scienza, al presente, non è affatto famigliare: ma noi ci figuriamo ciò che

Digitized by Google

avviene, col supporre, che vi è uno stato di cose, che cammina. Il dispaccio è trasportato dal filo; ma non come la merce dal convoglio.

Prendiamo un altro caso. Io mi scotto un piede, e lo ritiro istantaneamente. Per destare in me la coscienza, che il mio piede fu scottato, per quanto ora sappiamo, deve essere passato un dispaccio da esso al mio cervello: ed un altro dispaccio dev'essere passato da questo al piede, per avvertirlo di cambiar posizione, onde non essere scottato di più. Ora, si ritiene generalmente, che questa interna trasmissione di dispacci non è operata dall'elettricità: ma sebbene l'elettricità non agisca, pare, che vi sia qualcosa, che si comporta assai analogamente ad essa. Nessuno si figura, che il *dolore* cammini su e giù per la gamba: ed infatti è *uno stato di cose* che si trasporta dal nervo del piede al cervello: mentre vi è un altro *stato di cose,* che si trasporta dal cervello al piede, lungo un'altra serie di nervi. Un cordone ci può fornire un'immagine opportuna. Coll'agitare un cordone, noi possiamo trasmettere quello *stato di cose*, che chiamiamo un'onda, per tutta la sua lunghezza, senza che esso tutto insieme si trasporti. Questo esempio ci serve, a formarci un'idea, di ciò che s'intende, quando si dice, che uno stato di cose cammina lungo un filo, o lungo un nervo, e trasporta o quegli smovimenti elettrici, che danno per risultato la trasmissione di un dispaccio, o quell'azione nervosa, che genera l'atto del cervello.

§ 2. — *Onde d'acqua.*

Tratteniamoci alquanto di più sopra la parola *onda*, e sull'idea, che suscita comunemente. Appressiamoci ad uno stagno, e gettiamovi un sassolino. Che cosa succede? — Un

Digitized by Google

fenomeno dei più belli, e dei più istruttivi. Il luogo, dove il sassolino è caduto, è immediatamente circondato da ciò, che tutti conosciamo per un'onda di acqua, la quale si trasporta all'infuori; poi tosto se ne forma un'altra, poi un'al-

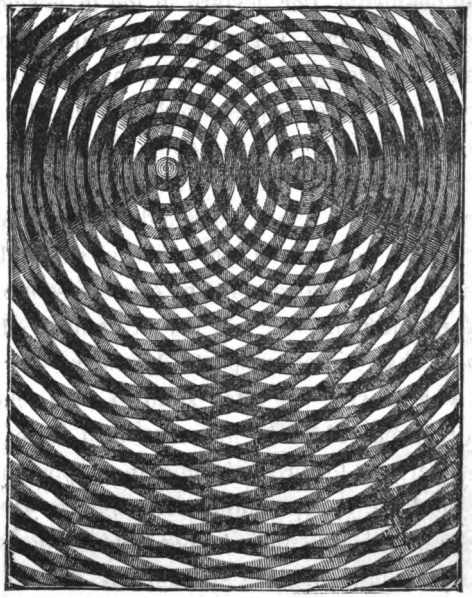


Fig. 1. — Sovrapposizione di due sistemi di onde.

tra ancora; finchè, in breve tempo, si vede una graziosissima serie di onde concentriche, che tutte visibilmente si trasportano infuori, così regolarmente, che tutte le onde, all'ingiro, formano dei circoli, e dei circoli concentrici.

Gettiamo due sassolini, alcun poco lontani. Che succede allora? Abbiamo due sistemi, affatto simili, ciascun dei quali va per la sua strada, senza preoccuparsi, per quanto sembra, dell'altro. Abbiamo ciò che è rappresentato nella fig. 1.

Digitized by Google

Ora, a giudicare dalle apparenze, si direbbe che dell'acqua sgorga dal buco, fatto dal sasso; ma, se spargiamo dei minuzzoli di carta, o qualche altro corpo leggiero, sulla superficie dello stagno, prima di gettarvi il sasso, troviamo

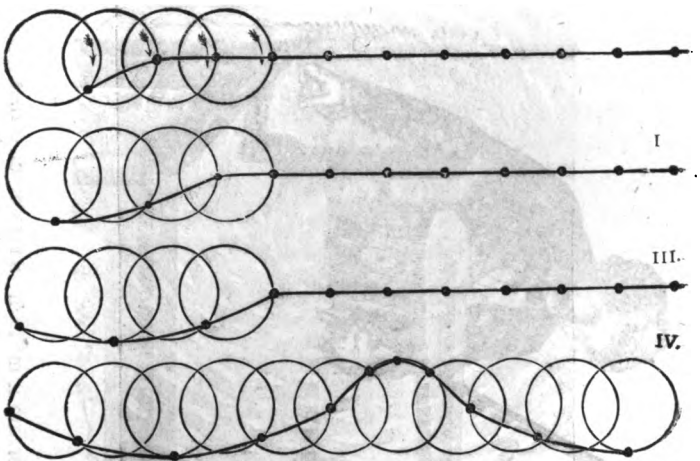


Fig. 2. — Formazione delle onde per mezzo del moto circolare delle particelle d'acqua in un piano verticale. Si vedono otto posizioni nelle diverse rivoluzioni: I. Una particella in moto; II. Due particelle in moto; III. Tre particelle in moto; IV. Onda completa e moto dei suoi elementi.

che non è già l'acqua che si trasporta, ma soltanto lo stato di cose — l'onda. Ogni particella d'acqua descrive un'orbita circolare o ellittica, in un piano verticale, posto nella direzione dell'onda, e torna nella sua primitiva posizione. Epperò soltanto la *fase* si trasporta: — e *come* si trasporta, si capirà facilmente dalla fig. 2.

§ 3. — *Onde sonore.*

Ora consideriamo agitazioni d'altra natura: e passiamo da due dimensioni a tre, dalla superficie dell'acqua all'aria.

Digitized by Google

Noi sentiamo il colpo di un cannone, il fischio di una locomotiva, e tutti gli altri rumori, che colpiscono il nostro orecchio. In qual modo l'orecchio è colpito? Certamente nes-

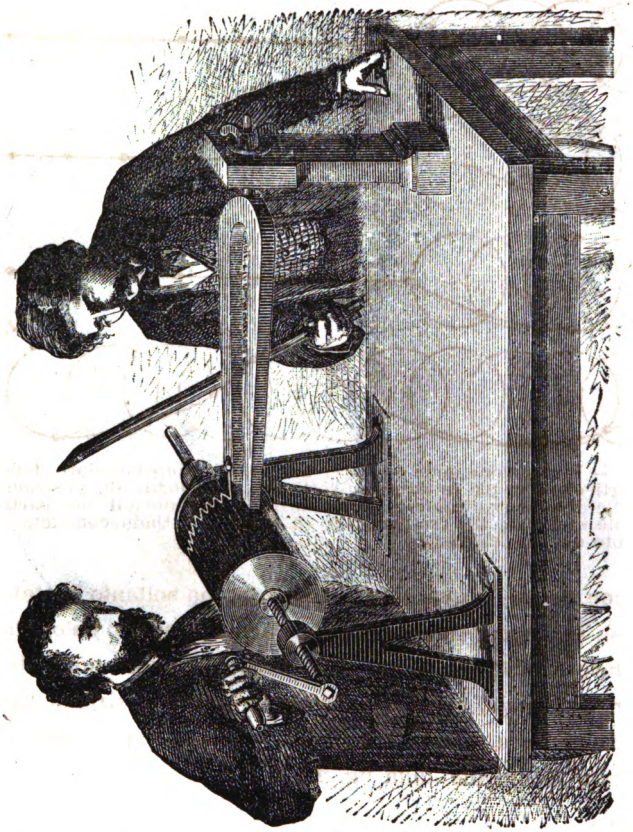


Fig. 3. — Metodo grafico per osservare il modo di vibrare di un corista.

suno s'immagina che il suono venga dal cannone, o dal fischietto della locomotiva, come un violento soffio d'aria. Se

Digitized by Google

esso venisse come un vento, come tale dovremmo sentirlo; mentre nel fatto non si sente alcun soffio. Epperò è chiaro, che non si ha a che fare con una trasmissione di massa, come nel caso della palla, lanciata da un ragazzo all'altro.

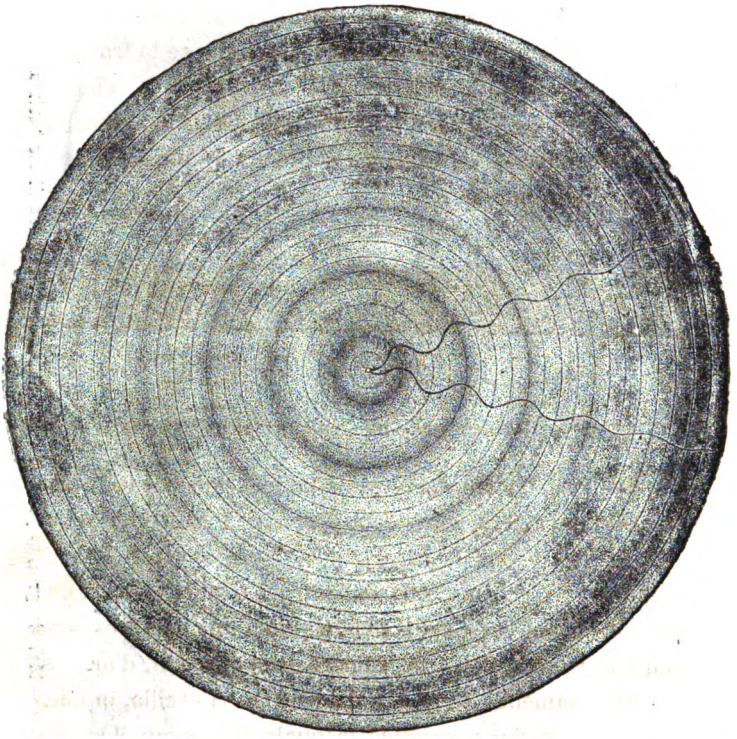


Fig. 4. — Strati di aria compressa e rarefatta, prodotti da una sorgente di suono.

Abbiamo uno stato di cose, che si trasporta dal corpo che manda il suono, a quello che lo riceve; e il mezzo, attraverso il quale passa il suono, è l'aria. Un corpo sonoro,

Digitized by Google

posto, per esempio, nel mezzo di una camera, deve emettere strati di suono, tutt'all'ingiro; poichè il suono si può sentire di sopra, di sotto, e d'intorno. Sostituiamo al sassolino un corista. Ad una gamba di esso applichiamo uno specchietto, e dirigiamovi un intenso raggio di luce. Battuto il corista, quando si ascolta un suono, la luce riflessa dallo specchio, mostra che l'istrumento vibra; che se lo trasportiamo, otteniamo sullo schermaglio un'apparenza, che ci ricorda il cordone; oppure possiamo disporre l'apparecchio come nella figura 3, ed ottenere sopra un cilindro affumicato una linea ondulata.

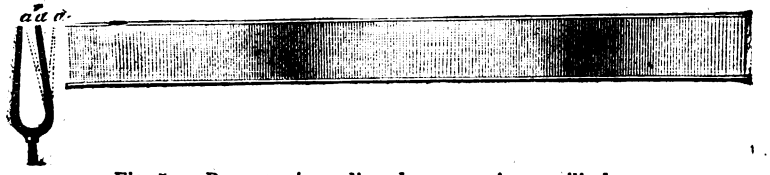


Fig. 5. — Propagazione di onde sonore in un cilindro.

L'esperienza dimostra, che si ha intanto una sfera di compressione: una sfera, cioè, dove l'aria è fortemente compressa; e quindi una di rarefazione, dove le particelle di altrettanto si scostano, l'una dall'altra. Lo stato di cose, che si trasporta, nel caso del suono, è quindi una compressione e una rarefazione dell'aria. Epperò la particella d'aria si move diversamente da quella d'acqua: essa oscilla, in linea retta, nella direzione, secondo la quale si propaga il suono.

L'annessa figura mostra, come, le compressioni e le rarefazioni suddette, risultano dal movimento oscillatorio, in seguito alla trasmissione dell'impulso, da una molecola all'altra; poichè per questo moto pendolare, le posizioni relative delle molecole, vanno continuamente variando.

Digitized by Google

Il professore Weinhold, nella sua *Fisica sperimentale*, ha esposto un metodo elegante, per ottenere, sopra un piano, un'immagine di ciò che accade, in una così detta onda sonora; e, grazie alla gentilezza dei signori Longmans, io posso

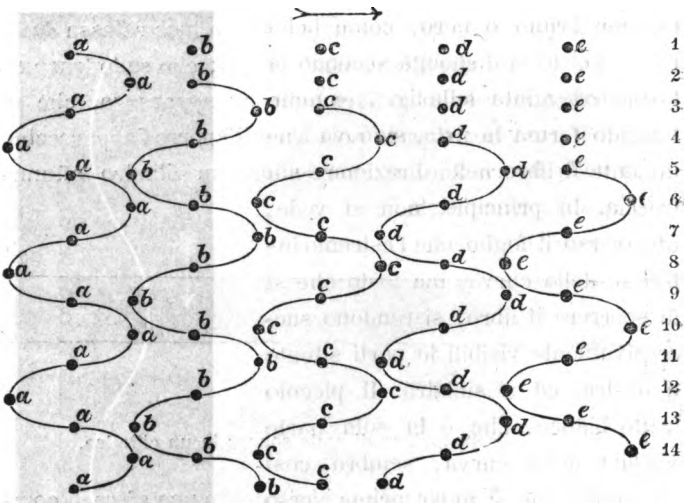


Fig. 6. — Onde sonore. Le particelle a, b, c, d, e, nella posizione 1 sono in quiete. Le altre posizioni mostrano come esse sono disposte, quando vengono raggiunte da una serie di impulsi, diretti da sinistra a destra. Nella posizione 2, per esempio, una sola particella ha incominciato ad oscillare. Nella posizione 3 sono in movimento soltanto due particelle; mentre nella posizione 6 lo sono tutte.

qui riprodurre le rappresentazioni, ch'egli adopera. Poichè le particelle sono state poste in movimento, nel modo, che indica la fig. 6, se rappresentiamo graficamente il moto oscillatorio di ciascuna di esse, con una linea ondulata, com'è nella fig. 7, e descriviamo, l'una accanto all'altra tante di queste linee, introducendo la diversità della fase, avremo un sistema di curve, come nella fig. 8.

Ora, la bellezza della rappresentazione di Weinhold con-

Digitized by Google

siste in ciò, che egli ottiene quasi l'illusione, che i singoli elementi delle diverse linee, i quali rappresentano evidentemente particelle d'aria, siano realmente in moto. Basta trattare la suddetta figura, nel seguente modo. Si faccia un sottilissimo taglio ss, in una lista di cartone bruno o nero, come nella fig. 9: poi lo si disponga secondo la linea punteggiata della fig. 7: e mantenendo ferma la lista, si mova lentamente il libro nella direzione della freccia. In principio, non si vede, attraverso il foglio, che l'estremo inferiore della curva; ma tosto che si fa scorrere il libro, si rendono successivamente visibili le parti situate a destra, ed a sinistra. Il piccolo tratto bianco, che è la sola parte visibile della curva, sembra così un punto, che si move prima verso destra, poi verso sinistra, e imita, abbastanza fedelmente, il moto di una particella d'aria vibrante, colla differenza però che la rapidità è molto minore. Che, se il taglio si dispone secondo la linea punteggiata della fig. 8, e si fa scorrere il libro, nella direzione della relativa freccia, si ottiene un' immagine del moto di un sistema di particelle d'aria, sospinte da una serie di eguali ondulazioni. Ogni particella non fa che moversi un poco a destra ed a sinistra, ripassando sempre pel suo punto di partenza; ma le condensazioni e le rarefazioni, rappresentate dall'avvici-

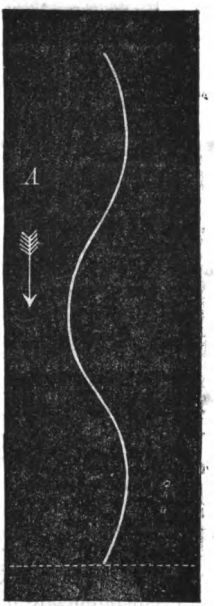


Fig. 7.

Digitized by Google

narsi e dallo scortarsi delle linee, si trasmettono successivamente, lungo tutta la serie.

Occupandoci del suono, abbiamo il vantaggio di trattare

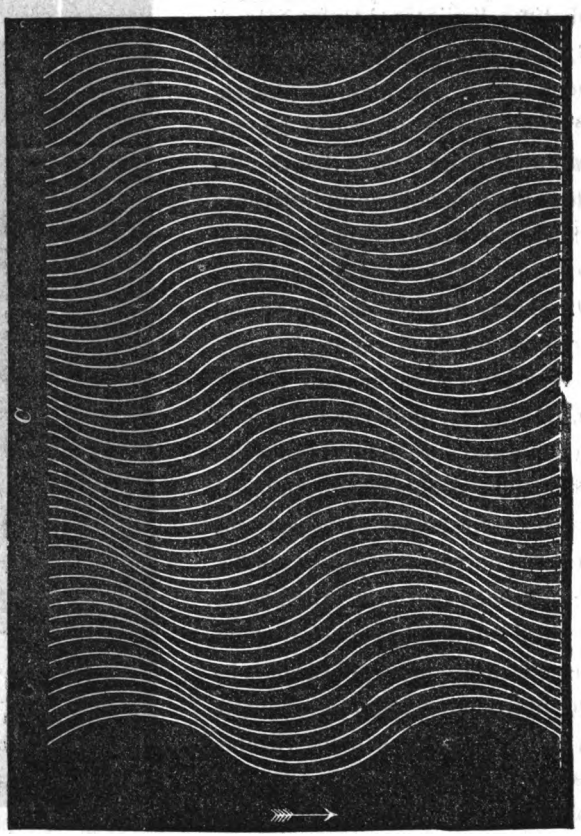


Fig. 8.

fenomeni, intorno ai quali la scienza è sicura di sapere qualcosa di positivo; e colle considerazioni di questi fatti accertati, potremo mettersi in grado di capire, a poco a

Digitized by Google

poco, ma chiaramente, alcuni dei fenomeni assai meno famigliari, a cui è dedicata la spettroscopia.

Tutti sanno come certi suoni si qualificano per acuti ed altri per bassi: differenza, che, in termini scientifici, si esprime col dire che i suoni possono avere una diversa altezza. Ed è noto, che la differenza fra un suono alto e un suono basso, dipende semplicemente dalla differente lunghezza delle pulsazioni, o delle onde (come possiamo dire per semplicità di linguaggio), che vanno dal corpo, che manda il suono (il quale può essere un cannone, un pianoforte, od altro) a quello che lo riceve — in generale, l'orecchio umano. Ciò che in fisica, si chiama un'onda, si costruisce come segue: si traccia una linea AX, che rappresenta la condizione normale dell'aria, attraverso la quale il suono si propaga, e delle curve, che presentano all'occhio, in primo luogo, la relativa grandezza della compressione, e della rarefazione, prodotta dal suono, in ogni impulso: ed in secondo luogo, la relazione loro colla lunghezza dell'onda, o, ciò che è lo stesso, il tempo impiegato dall'impulso a propagarsi. Però, possiamo avere onde lunghe e brevi, indipendentemente dalla grandezza della compres-

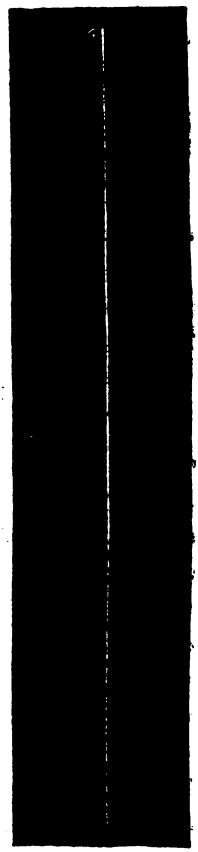


Fig. 9.

Digitized by Google

sione, e della rarefazione: e compressioni o rarefazioni più o meno intense, indipendentemente dalla lunghezza dell'onda. Così pure sappiamo, che la differenza tra una nota alta ed una bassa, sia essa prodotta dalla voce, o

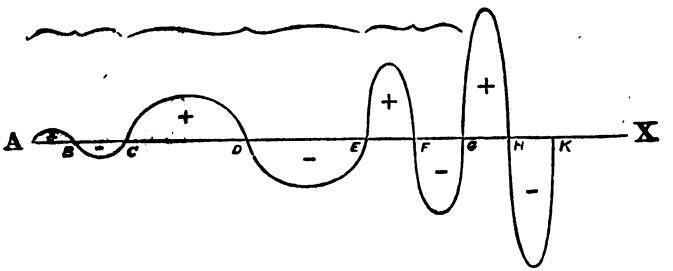


Fig. 10. — Onde sonore di varie lunghezze ed ampiezze.

da uno strumento musicale, proviene da ciò che la prima si può dimostrare prodotta da una successione di onde brevi — o impulsi, come furono definiti — e la seconda da una successione di onde lunghe.

Ora, l'intensità o la debolezza di una nota, non ne modifica l'altezza: cioè non altera la lunghezza delle relative onde, o la rapidità colla quale esse si propagano. Io posso trasmettere un'ondulazione, lungo il cordone, violentemente o piano; ma, pari essendo la tensione, troverò che la lunghezza delle onde è sempre la stessa, purchè sia sempre mantenuto lo stesso il periodo della vibrazione. Abbiamo quindi un concetto distinto, da aggiungere a quello di altezza.

Un altro punto richiama la nostra attenzione, sebbene, relativamente ad esso, non ci sia necessario d'entrare in dettagli; ed è il fatto ben conosciuto, che il suono si tra-

Digitized by Google

smette con una certa velocità, la quale è soggetta ad alcune piccole variazioni, dipendenti da varie cause.

Ma non abbiamo soltanto da considerare l'ampiezza — ossia, lo scostamento dalla retta AX delle parti + e — della curva — e la velocità. Abbiamo altresì il seguente importantissimo, e bellissimo fatto (poichè è realmente un fatto), che alcuni avranno osservato da sè. Se una persona canta una nota, in una camera, dove si trova un pianoforte, la corda accordata con quella nota, vi risponde: e se ne canta un'altra, vi risponderà un'altra corda, mentre la prima si manterrà in silenzio. Che se lo sperimentatore saprà cantare, ad una ad una, tutte le note, colle quali sono accordate le corde del pianoforte, esse tutte si porranno in vibrazione, ad una ad una, nota per nota. Ecco come si può spiegare questo fatto: una corda di pianoforte, o un corpo sonoro consimile, così costrutto, da rendere una nota particolare, renderà sempre quella nota, ogni qualvolta sia provocato a farlo, *in un modo conveniente*. Ora, tutto sta qui. Il modo conveniente può essere, o (1) che una vibrazione particolare cada sopra di esso: o (2) che esso sia fatto agire, in modo da generare quella nota in sè. Se una corda di pianoforte non rende che un medesimo suono, sia essa fortemente o leggermente colpita, egli è perchè la corda è disposta in modo da eseguire una specie particolare di lavoro, e non ne può dare un'altra.

Passiamo da una corda di pianoforte ad un corista. Troviamo che coristi, di diversa massa, e variamente foggiati, rendono note differenti. Se il metallo sarà lo stesso per tutti, la diversa quantità ci darà una diversa altezza; il che dimostra che l'altezza è indipendente dalla qualità della sostanza posta in vibrazione. Ora, sebbene molti stru-

Digitized by Google

menti musicali possano rendere la stessa nota, pure l'armonia, ossia il *metallo*, che se ne ottiene, varia assai, dall'uno all'altro. Cioè, a parità d'altezza, la qualità della nota cangia, perchè l'onda, o piuttosto il sistema di onde, che si ottiene, è differente. Per esempio, se si suona una nota sul violino, sul corno inglese, sul flauto e sul clarinetto, ognuno, che sappia qualcosa di musica, saprà distinguere la voce dei varii strumenti. Abbiamo quindi da aggiungere alla lunghezza, e all'ampiezza dell'onda, un altro attributo: e cioè quello che in italiano si chiama *metallo:* in francese *timbre: klangfarbe* in tedesco: *tone* o *quality*, in inglese.

Per riassumere, ciò che abbiamo detto, riguardo al suono, concludiamo che i fenomeni sonori risultano da agitazioni, o vibrazioni, che mettono in rapporto il corpo che emette il suono, con quello che lo riceve; che i suoni possono variare d'altezza; che l'intensità dipende dall'ampiezza; che l'altezza è indipendente dalla sostanza del corpo sonoro, o dalla specie di agitazione: mentre il metallo, fino ad un certo punto, ne dipende.

§ 4. — *Onde luminose.*

Dobbiamo ora considerare quelle specie di agitazioni, a cui dobbiamo la sensazione della luce: la quale è, per rispetto all'occhio, precisamente ciò che è il suono, per rispetto all'orecchio. Qui pure, per semplificare la trattazione, consideriamo la questione da un triplice punto di vista; e trattiamo dei corpi, che mandano la luce, di quelli che la ricevono, e del mezzo che mette in rapporto i primi coi secondi. Osserviamo, innanzi tutto, che, per quanto ora sappiamo, i corpi atti a ricevere la luce, trascurando le piccole

Digitized by Google

differenze, si possono dividere in tre specie. Per primo ci si presenta quel mirabile apparecchio, che è l'occhio umano; in secondo luogo, un oggetto in sommo grado pure meraviglioso, la lastra fotografica. Come accade, che poche parole sanno ridestare in noi tante memorie dell'infanzia? Egli è perchè, da fanciulli, abbiamo veduto certe cose, per mezzo dei nostri occhi; le impressioni si sono fissate nel cervello; e noi possediamo la facoltà di saperle ricostruire, di ricomporle di nuovo. Abbiamo quindi in ciò un modo, per così dire, d'imprimere cose, che sono vedute dagli occhi — di trascrivere dispacci, che ci arrivano da certe provenienze. Nella lastra fotografica, abbiamo pure una rappresentazione permanente di una certa condizione di cose, che può essere una fisonomia, una casa, una nave, un'apparenza particolare del mare o del cielo; la lastra, sottoposta una volta ad una certa serie di operazioni chimiche, ci permette così di richiamare la cara immagine di qualche amico, forse molto lontano. Sono questi due specie di corpi, che ricevono la luce, i quali, più o meno fedelmente, più o meno a lungo, fissano la vibrazione, che, una volta, li ha eccitati.

Ma, oltre l'occhio e la lastra fotografica, vi sono le case, dove viviamo, gli attrezzi, i volti delle persone, che ne circondano, questo libro, e tutti i corpi, del nostro pianeta, nè soltanto di esso, ma dell'intero cosmo, non dotati di luce propria; i quali costituiscono la terza classe, quella cioè degli oggetti, che non fissano le impressioni prodotte sopra di essi; e, più o meno perfettamente, riflettono la luce.

E tanto basti, pei ricevitori di questa specie di vibrazioni. Rammentiamo, che di notte, o in una camera oscura, gli oggetti menzionati, e tutti i corpi analoghi, diventano invi-

Digitized by Google

sibili. Il nostro occhio non li distingue più: il quale fatto dimostra, che il ricevitore sostiene un'importantissima parte. D'altronde, in uno splendido giorno d'estate, tutte le cose ricevono luce da una sorgente luminosa — il sole. Come avviene che coi ricevitori della prima classe — gli occhi — siamo in grado, a meno che non siamo inetti alla percezione dei colori, di distinguere tutte le belle e lussureggianti varietà di natura, nella loro infinità di sfumature: mentre quelli della seconda classe, le lastre fotografiche, non ci danno che bianco e nero? Perchè le rose sono vermiglie, e le foglie sono verdi? Nel cielo vi è pure la stessa luce: e la stessa mancanza di forma, — la stessa mancanza di visibilità — vi è nelle tenebre; eppure, colla luce proveniente da una medesima sorgente otteniamo tutti questi diversi effetti. Come mai? Veniamo così alla conclusione, che, o i corpi, atti a ricevere la luce, che furono da noi considerati, si comportano in modo assai differente: o che, in un modo o nell'altro, essi riescono a trattenere diverse qualità di luce.

Cerchiamo qualche spiegazione della varietà di colori, che osserviamo in natura. Abbiamo considerato i corpi, che ricevono la luce, comprendendovi quelli, che la riflettono: passiamo ai corpi che la emettono. Tra questi vi sono il sole, la luna, le stelle, i gas, le candele, — tutti esempii famigliarissimi. E sarà bene di ricordare, — se ne vedrà sempre più chiaramente la ragione — che la luce, emessa da tutte queste sorgenti, è quasi bianca. Ma ve ne sono altre specie.

Abbiamo, per esempio, la luce della lampada elettrica: d'intensità poco minore (secondo alcuni) di quella del sole. Essa proviene da due coni di carbone, portati all'incandescenza da una corrente.

Digitized by Google

Introducendo varii metalli tra i due coni, otteniamo, non solo la luce del carbone incandescente (luce bianca), ma varii fenomeni colorati, che si devono attribuire all'introduzione di quei corpi.

Nè soltanto coll'arco elettrico, o colla scintilla, quei fenomeni si possono produrre. Ponendo sali di varii metalli nella fiamma della lampada di Bunsen, si trova, che per ogni sostanza, la fiamma prende una tinta diversa. Il sodio la colora in giallo; il litio vi comunica una luce rossigna: il tallio una tinta verde. E se, invece di sperimentare con sali metallici, preferiamo di prendere certi gas, e di renderli fortemente luminosi o risplendenti, facendovi passare una corrente elettrica, troviamo ancora una grande varietà di colori. Alcuni appariscono rossi, altri verdi, altri violetti, e va dicendo.

I fenomeni colorati, di cui abbiamo ora parlato, si possono produrre, con apparecchi fisici e chimici; ma, pure nel cielo, abbiamo dei corpi di vario colore, simili al sole, alla luna, e agli astri, che non si distinguono per splendore di tinta. Quanti ebbero la fortuna di ammirare la bella cometa, che era visibile nel luglio 1874, avranno osservato come la sua luce fosse gialla: non già come la fiamma del sodio, ma abbastanza distintamente. — Chiunque ebbe occasione di osservare qualche stella, col telescopio, o, ciò che vale altrettanto, di attraversare l'equatore, così da vedere qualche parte del cielo dell'emisfero australe, può dire come alcuni astri siano tanto belli, anzi tanto magnifici, per la loro tinta, quanto altri lo sono, per il loro splendore. Come pure, chi ha veduto un eclisse totale di sole, sarà stato colpito dalla vista di una estesa ed interessante porzione del disco, che non si può vedere, in nessun'altra circo-

Digitized by Google

stanza — una regione di colori splendidissimi, e di forme bizzarre.

Così, tanto nel cielo, come sulla terra, abbiamo esempii di luce bianca, e di luce colorata.

Tutto ciò, per quanto alle sorgenti. Ora una parola intorno al mezzo, poichè, come possiamo persuadercene facilmente, nel caso della luce, come in quello della elettricità, dove siamo tuttora incerti, e come in quello del suono, dove possediamo la certezza assoluta, altro non si trasmette, fra il corpo, che manda, e quello che riceve, che uno stato di cose, un' agitazione, o vibrazione. La luce, ad esempio, emessa dalla fiamma di una candela, e ricevuta dai nostri occhi, non viene materialmente dalla candela a noi, come in forma di tanti piccoli proiettili. La sorgente, che in questo caso è la candela, è soltanto qualcosa, che mette in movimento qualcosa d'altro. È qualcosa vi è poi, che trasporta questo moto. Se colpiamo, e facciamo suonare un campanello, ascoltiamo un suono: ma poniamo quel campanello in un recipiente di vetro, donde si cavi l'aria, ed allora, per quanto lo scuotiamo, non percepiremo più nulla. Perchè ciò? Perchè l'aria è il mezzo di trasporto delle onde sonore: epperò, se la leviamo, togliamo la possibilità che il suono si propaghi, da un luogo all'altro. — Si può asserire, per esempio, che, nella luna, non vi può essere alcun suono. Se domani la luna si riempisse di uomini, nessuno sentirebbe parlare gli altri. Nessun suono, nè intenso nè fievole, potrebbe essere udito da un abitante di lassù, poichè non vi è atmosfera sensibile.

Ma, sebbene in tutto lo spazio posto fra noi e il nostro satellite, non vi sia traccia d'aria, nè vi sia in tutto lo spazio posto fra noi ed il sole, pure la luce ci arriva e dalla luna e dal sole. In qual modo?

Digitized by Google

§ 5. — *La teoria dell'etere.*

I fisici suppongono, che esista un qualcosa, d'infinitamente più sottile dell'aria, chiamato *etere*, il quale invada tutto lo spazio, e penetri fino nei meati dei corpi; e, che l'agitazione, o onda luminosa, prodotta da una sorgente di luce, o corpo raggiante, si trasmetta lungo l'etere, in modo assai simile a quello, in cui lo *stato* di onda si trasmette nell'acqua, e, lo stato di movimento lungo un cordone. Associata coll'etere, abbiamo la teoria ondulatoria della luce, secondo la quale tutto ciò, che emette luce, pone in vibrazione l'etere — quest'aria, per modo di dire, rarissima, imponderabile; e queste vibrazioni, senza alcun trasporto della sostanza dell'etere, si propagano dai corpi raggianti, a quelli, che ne ricevono i raggi. Qui abbiamo uno dei maggiori trionfi della scienza moderna; poichè, come sanno molti, Isacco Newton, che era pure quel grand'uomo, credeva (ed era pienamente giustificato dai fatti, che, in quei tempi, potevano essere a sua disposizione) nella così detta *teoria corpuscolare*, la quale supponeva, che le sorgenti luminose lanciassero piccoli proiettili di luce, quasi come piccole palle da fucile, o, in altre parole, che l'etere trasportasse la luce, come un convoglio trasporta una merce, e non come un filo telegrafico, un dispaccio. Questa non è più la teoria sostenuta oggidì dagli scienziati. Essi hanno cambiato d'opinione, perchè la scoperta di nuovi fatti sperimentali, ha fornito più larghe basi al ragionamento. Tali devono sempre essere le sorti della scienza: la quale non sarà mai tanto in fiore, come quando cambierà d'opinioni, poichè ciò significa, che si sono acquistate nuove verità.

Digitized by Google

Così, poichè si crede generalmente, che in tutto lo spazio, posto fra il sole e noi, non vi è nulla di simile ad un'atmosfera, per spiegarci come vediamo il sole, supponiamo, che vi sia un certo mezzo, il quale fu chiamato etere. Siccome, ci separa dal sole una distanza di circa cento cinquanta milioni di chilometri, e questa distanza, presa molti milioni di volte, ci separa da varie stelle, che pure vediamo, siamo costretti ad ammettere, che questo mezzo possiede una quasi perfetta, se non una perfetta, capacità di trasmettere la luce, e non le fa pagare un'apprezzabile tassa di transito. Sappiamo, che l'atmosfera è qualche volta così eterogenea, che il suono vi si propaga con grandissima difficoltà. Questa idea ci mette in grado di formarci l'altra — che la luce, poichè ci arriva da stelle immensamente lontane, non può incontrare molta difficoltà, nel propagarsi per l'etere. Possiamo quindi conchiudere, che, nel caso della luce, abbiamo nell'etere un universale, e quasi perfetto mezzo, o trasmissore dell'agitazione prodotta dai corpi raggianti, a quelle tre classi di ricevitori, che si sono considerati.

Ciò posto, come dobbiamo figurarci i movimenti delle particelle d'etere, in un'onda luminosa? Siamo già famigliari colle orbite circolari delle molecole di un'onda d'acqua, poste in piani verticali, passanti per la direzione del moto, e col movimento oscillatorio di una particella d'aria, nella direzione, in cui si propaga l'agitazione sonora. Il moto delle molecole d'etere, come l'immaginano i moderni fisici, è assai differente.

In primo luogo, il moto è trasversale, per rispetto alla propagazione dell'agitazione; cioè, le vibrazioni succedono in piani perpendicolari al raggio.

Digitized by Google

E, in questi piani, qual'è la natura del moto? Essa varia, senza dubbio, colle vibrazioni della sorgente. La molecola può descrivere una retta, oppure un' orbita, — cioè, la sua traiettoria può essere rettilinea, circolare, od ellittica, — ma, in ogni caso, la linea giacerà in un piano, ad angolo retto colla direzione del raggio.

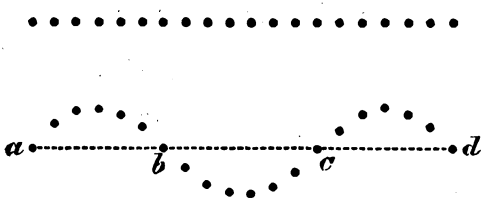


Fig. 11. — Sistema di onde.

Possiamo prendere, per rappresentarci le particelle d'etere, in quiete, una serie di palle. Se immaginiamo che le singole palle si muovano successivamente, ed oscillino uniformemente sopra e sotto, veniamo a stabilire lungo l'intera linea, un sistema di onde: avremo monti e valli: e ci si presenteranno tosto le idee di lunghezza d'onda (distanza fra due monti, o fra due valli consecutive), e di ampiezza, come nel caso del suono.

In questo caso adunque abbiamo la mutua attrazione, o coesione elastica dell' etere, che trasporta un' agitazione.

Ora, nella luce ordinaria, le traiettorie non sono tutte similmente situate. Cioè le rette descritte dalle particelle rappresentate nella fig. 11, possono passare per la linea centrale, sotto diversi angoli, e l'asse maggiore delle orbite di quelle, che hanno traiettorie ellittiche, può esso pure tagliare sotto diversi angoli, la linea medesima; per modo che, per

Digitized by Google

citare il sig. Spottiswoode [1]: « sebbene vi siano ragioni, per credere, che, in generale, le orbite di un gran numero di molecole consecutive, possono essere similmente orientate, pure, in un tratto finito del raggio, le variazioni di orientazione sono in numero sufficiente, per impedire la preponderanza di una direzione media. »

§ 6. — *Lunghezza d'onda.*

Una parola, intorno alla lunghezza delle onde luminose, per dare un'idea delle proporzioni dei moti delle molecole d'etere — il nostro mezzo. Il paragone colle onde sonore farà risaltare nuove analogie fra le due classi di fenomeni.

Cominciamo, allora, dal suono. La velocità media con cui si propagano le agitazioni sonore, nell'aria, è di circa 340 metri, al secondo. E l'esperienza ha dimostrato, che la nota più bassa, che noi possiamo percepire come musicale, è quella per cui le vibrazioni penetrano nell'orecchio, in ragione di 16 $^1/_2$, al secondo.

Ciò posto, immaginiamo una colonna d'aria, lunga 340 metri, e con sedici compressioni, e rarefazioni, nella sua lunghezza. È chiaro, che tutte le onde di questo sistema, verranno a colpire il nostro orecchio, al termine d'un secondo, e che la lunghezza di ogni onda, per esempio, la distanza fra due massime compressioni consecutive, o fra due massime rarefazioni, dev'essere di metri $^{340}/_{16} = 20$ circa.

La più acuta delle note sensibili, secondo Helmholtz, è quella, a cui corrispondono 38 000 vibrazioni, per secondo.

Tra questi estremi, abbiamo quindi tutto il mondo ricchis-

[1] *Polar ation of light* (Polarizzazione della luce) p. 6.

Digitized by Google

simo dei suoni musicali, che il nostro orecchio è in condizione di poter apprezzare. Del resto, può darsi che l'aria sia zeppa di suoni, che oltrepassano l'uno e l'altro dei limiti della nostra percezione.

Veniamo alle onde luminose. Siccome l'etere è infinitamente più elastico dell'aria più densa, le vibrazioni si propagano in esso, con una velocità, che sfugge completamente alla nostra immaginazione. La più recente misura ci apprende, che una vibrazione luminosa si propaga, in ragione di circa 298 000 000 metri, per secondo. Immaginiamoci l'agitazione molecolare, che proviene da questa condizione di cose; e riflettiamo che una lucciola, volando, può produrla, e, librata che sia, attraversa la distanza della più remota stella, come se vi fosse riunita, e senza una perdita sensibile d'energia.

Per quanto alle dimensioni delle vibrazioni luminose, la lunghezza della più lunga delle onde visibili è di 0,00076009 millimetri; e quella della più breve è di millimetri 0,00039328. Le più lunghe delle onde visibili sono rosse, le più brevi, violette.

Siccome 298 000 000 metri equivalgono a 29 800 000 000 000 000 cento milionesimi di millimetro, e tutte le onde, che si trovano, sopra questo spazio, debbono penetrare nell'occhio, al termine d'un secondo, il numero dei monti per secondo sarà

$$\frac{29\ 800\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000}{76\ 009} = 392\ 000\ 000\ 000\ 000$$

cioè, 392 bilioni di onde entreranno, per secondo, nel nostro occhio, nel caso della luce rossa: e

$$\frac{29\ 800\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000}{39\ 328} = 757\ 000\ 000\ 000\ 000$$

cioè 757 bilioni, nel caso della luce violetta.

Digitized by Google

§ 7. — *Collisione della materia coi movimenti dell'etere.*

Dobbiamo ora osservare, che la trasmissione della luce, attraverso l'etere, non succede unicamente nel vuoto. Se si espone al sole un bicchiere di vino di bordeaux, la luce lo attraversa, e apparisce rossa. In questo caso, essa deve attraversare l'etere, più il vino di bordeaux; e vediamo tosto, come il nuovo mezzo la modifichi enormemente.

La luce di una lampada elettrica, proiettata sopra uno schermaglio, ci apparisce bianca, cioè della stessa specie di quella del sole. Immaginiamoci, che ci venga realmente dal sole. Coll'interporvi un pezzo di vetro azzurro o rosso, (quasi, aggiungendo all'etere queste sostanze), alteriamo tosto le condizioni del fenomeno, e otteniamo sullo schermaglio una tinta azzurra o rossa. Però, è chiaro, che, se intendiamo di studiare completamente i fenomeni luminosi, dobbiamo tener conto, non solo delle varie circostanze, che si riferiscono alla sorgente, e al ricevitore, ma di quelle altresì, che si riferiscono al mezzo, attraverso il quale la luce si propaga, o, come vedremo sempre meglio, ai mezzi, che *assorbiscono* la luce; poichè, se non ci consta, che l'etere l'assorbisca, sappiamo, per esperienza, che lo fanno tutte le altre sostanze. Così, sappiamo, che la tinta rossa, che presenta il sole, al tramonto, proviene da un assorbimento, non dell'etere, ma di un grosso strato della nostra atmosfera, che effettivamente si comporta, per rispetto ai raggi solari, come il pezzo di vetro rosso, per rispetto alla luce elettrica, nella esperienza ora descritta.

Vediamo quindi, supponendo sempre il nostro mezzo complesso (il quale si compone di etere + materia), che l'as-

Digitized by Google

sociazione delle due sostanze produce un assorbimento della luce, per cui il corpo, che la riceve, non raccoglie tutta intera l'agitazione emessa dalla sorgente, essendo le vibrazioni dell'etere modificate dall'azione delle molecole dei varii corpi, che debbono attraversare.

Questo non è il solo risultato, che proviene, per così dire, dalla insinuazione dell'onde eteree, fra le molecole della materia. Se le vibrazioni si propagano in tal direzione, per cui passano in una sostanza più densa dell'aria — come l'acqua o il vetro — non perpendicolarmente alla superficie, la direzione della propagazione si altera; l'onda cangia di fronte; e quanto più differiscono, l'una dall'altra, le densità dei due mezzi, come aria ed acqua, aria e diamante, attraversati in queste condizioni, tanto più grande è questo cangiamento, tanto più si altera la direzione, secondo la quale si propaga la luce.

§ 8. — *Azione del prisma.*

Ma il cambiamento di fronte va unito con un altro fenomeno, assai più interessante pel nostro scopo attuale, che possiamo studiare nelle condizioni più favorevoli, facendo entrare ed uscire le vibrazioni, per la superficie di un corpo, fabbricato di molecole più dense, sotto un medesimo angolo.

L'esperienza si può eseguire, aggiungendo al mezzo, del vetro, in forma di prisma.

L'effetto, che si produce, fu descritto, per la prima volta, da Keplero, e spiegato da Newton: ma, per darne una spiegazione completa, era necessaria la teoria ondulatoria.

L'opposizione delle molecole del vetro, disposto, come

Digitized by Google

abbiamo detto, alle vibrazioni eteree, ha per risultato (1) di deviare il raggio dal suo cammino; di più, se il raggio è bianco (2), di decomporlo ne' suoi elementi, ciascuno dei quali è rappresentato da un colore speciale; e se il raggio

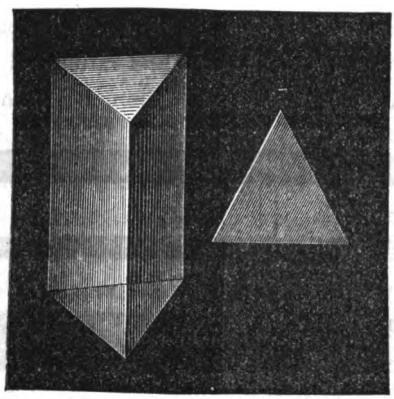


Fig. 12. — Il prisma.

è di uno special colore (3), di farlo camminare in una direzione, costante, pei singoli colori, ma variabile dall'uno all'altro.

Il vetro ci fornisce un esempio, nel quale questa dispersione di colori, è *normale:* cioè, ordinata come le lunghezze d'onda. I colori si succedono, come segue:

Rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro, indaco, violetto.

Ma vi sono sostanze, le cui molecole debbono agire sull'etere, in modo assai differente: ed esse ci danno la *dispersione anomala*, così chiamata perchè l'ordine normale dei colori vi si trova invertito.

L'esperienza del prisma ci dimostra, che un raggio di luce bianca non è un elemento semplice, ma che si può

Digitized by Google

paragonare ad un cordone, composto di un'infinità di fili. Se, per esempio, mediante una certa azione concertata, si abbassano tutti i tasti di un pianoforte, si ottiene un suono, che è il risultato della combinazione di tutte le note, relative ai singoli tasti. Questo suono è analogo ad un raggio di luce bianca. I ragionamenti, sui quali si fondano tutte le nuove ricerche, che ci hanno resi famigliari colla materia, situata milioni e milioni di chilometri lontano da no

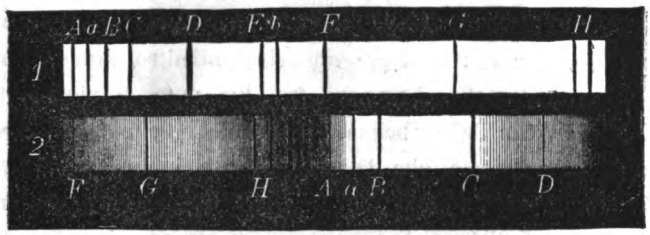


Fig. 13. — (1) Dispersione normale del vetro — (2) Dispersione anomala della fucsina. — *AaBC*, Rosso — *D*, Giallo — *EF*, Verde — *G*, Azzurro — *H*, Violetto.

come se fosse alla portata delle nostre mani, discendono dall'avere ben stabilito il concetto, che un raggio di luce bianca è costantemente composto di onde luminose di diversa lunghezza, proprio come quel rumore di pianoforte è composto di varie note musicali, cioè di onde sonore di diversa lunghezza; mentre ad ogni luce di colore speciale, corrisponde una sola lunghezza d'onda, o una combinazione particolare.

Se, dunque, invece di lasciare, che un raggio di luce bianca emessa dal sole, o da una lampada elettrica, cammini, attraverso una sottile fessura rettilinea, dalla sorgente allo schermaglio, poniamo sul suo corso un prisma ed una lente, osserviamo un fenomeno complesso: la luce devia dal suo

Digitized by Google

cammino: e sullo schermaglio, invece di avere un'unica immagine della fessura, per cui passano i raggi, — l'immagine piccola e bianca, prodotta dalla lente, che appariva prima d'introdurre il prisma — avremo una striscia, tinta dei colori dell'arcobaleno. Aggiungendo un secondo prisma, in aiuto del primo, avremo, come potevamo aspettarci, lo stesso effetto, in proporzioni maggiori. Questa striscia colorata come l'arcobaleno, è lo spettro.

Ora la differenza, che passa fra la luce azzurra, che apparisce ad un estremo della striscia, così splendidamente variopinta, e la rossa, che apparisce all'altro, non è nè più nè meno di quella che passa fra due note di pianoforte, l'una acuta, e l'altra bassa. La ragione, per cui un'estremità della striscia, che d'or in avanti chiameremo spettro, è azzurra, e l'altra è rossa, sta in ciò, che la luce, come il suono, consistono di un sistema di vibrazioni, o di onde: le quali onde possono essere lunghe o brevi: e ciò che sono, per riguardo alla musica, le note basse ed acute, sono le onde rosse, e le azzurre, rispettivamente, per riguardo alla luce.

Tra il mondo dei suoni, e quello della luce, vi è tutta l'analogia. Gli orecchi sono diversamente accordati per sentire i varii suoni: onde alcuni possono percepire note acute, che altri non sentono, altri note profonde. Nel modo stesso, alcuni possono vedere dei colori, pe' quali altri sono ciechi; per cui, dobbiamo conchiudere, che, quanto più entriamo in questo argomento, e completiamo le nostre indagini, tanto più ci colpisce l'analogia fra le due classi di fenomeni.

Epperò io ho cercato di giovarmi dei fenomeni sonori, come di un aratro, per metterci in grado di coltivare, con

Digitized by Google

maggior profitto, quei campi, che la moderna scienza aggiunse alle regioni del mondo conosciuto; campi mirabilmente ricchi di fatti, che interessano le qualità della materia non solo, ma le basi fisiche della materia stessa: con questa estensione meravigliosa e superiore alla nostra aspettativa, che non importa se la materia è fra le mani dello sperimentatore, nel suo laboratorio, o se ci manda la sua luce, qui in terra, dagli estremi confini dell'universo. La natura è così assolutamente, e generalmente, costante ed ordinata in tutto, e tanto accurata osservatrice di essa è la scienza moderna, dal punto di vista dello spazio e da quello del tempo, che, quando si studiano le piccole aggregazioni di materia, lo spettroscopio, non solo ci permette di decidere qual genere di materia è in azione, ma molte cose ci insegna, e ce ne insegnerà sempre di più, intorno alle condizioni intime della materia. Ed è probabile, che, in pochi anni, arriviamo a conoscere, intorno alla materia posta a grandissima distanza dal nostro pianeta, assai più che non conosciamo, intorno a gran parte di quella, che si trova sullo stesso pianeta da noi abitato.

§ 9. — *Riassunto.*

Con ciò, ammettiamo di saperne abbastanza, per prendere ciò che sappiamo del suono, come immagine, più o meno esatta, di alcuni dei fatti, che conosciamo, intorno alla luce, e riassumiamo i varii punti, finora toccati. Così, per rispetto al suono, come, per rispetto alla luce, si possono considerare le diverse sostanze, in primo luogo, come sorgenti, in secondo, come ricevitori, in terzo, come mezzi.

Quanto alle sorgenti di suono, il suono è prodotto da corpi,

Digitized by Google

come i coristi, ed è noto, ch'esso proviene dalle vibrazioni, od oscillazioni, del corista, che comunica all'aria una regolare agitazione. Le qualità del suono prodotto, da questo istrumento, o da un altro qualsiasi, dipendono dalla specie dell'agitazione provocata. — Quanto alle sorgenti di luce, un corpo luminoso, fa per la luce, esattamente, ciò che fa, per il suono, il corista. Una campana, che risuona, è l'equivalente di una candela, che arde, di un astro, che brilla.

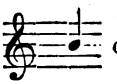
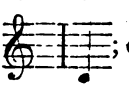
Vi sono poi, pel suono come per la luce, varie sorta di ricevitori. Preparando, ad esempio, certe superficie, in modo opportuno, possiamo raccogliere, e incidere, la forma e la lunghezza d'onda di un suono: possiamo cioè rendere permanente un'agitazione sonora. Similmente, la fotografia ci fornisce un modo di procurarci un ricordo permanente delle agitazioni luminose. Epperò abbiamo due ricevitori, l'uno del suono, l'altro della luce, che ci danno un ricordo, più o meno duraturo. Nè ho bisogno di ricordare gli orecchi e gli occhi, che abbiamo tutti, uomini e donne: l'orecchio essendo per le onde sonore, ciò che l'occhio per le onde luminose.

Riguardo al mezzo — per mantenere sempre la nostra fraseologia — abbiamo l'aria, il cui ufficio è di trasmettere i suoni, e l'etere, che ci trasporta la luce.

Possiamo figurarci un suono complesso, come composto di note, d'ogni grado d'altezza; e l'esatto equivalente di esso, lo abbiamo, nel caso della luce, in uno spettro continuo: dove cioè, fra l'estremo rosso ed il violetto non vi è interruzione di luce, come non vi sono posti vacanti nelle file di un esercito, che si presenta al fuoco.

Se abbassiamo un tasto di pianoforte, e poi un altro, l'effetto che si ottiene non è dovuto, ad una completa mi-

Digitized by Google

scela di tutti i suoni possibili, ma a ciascuno di quei due. Ora, l'analisi spettrale si fonda sul fatto, che ciò che ogni tasto di pianoforte, da noi toccato, fa per il suono, ciascuna particella di materia fa per la luce. L'esperienza ha provato, che la *nota luminosa* emessa dalle più elementari particelle delle diverse sostanze, varia colle sostanze stesse. Se esaminiano lo spettro della luce, emessa dalle particelle di un corpo allo stato di vapore, come, ad esempio, dal vapore di sodio, facciamo una cosa equivalente all'abbassare un tasto particolare della tastiera di un pianoforte. In questo caso, abbiamo uno spettro, costituito principalmente da una distintissima riga gialla. Importa assai, di capire perfettamente, l'analogia della riga gialla colla nota particolare del pianoforte, e quella dello spettro continuo col suono prodotto, facendo suonare, tutte insieme, le corde. Supponiamo ora di prendere un metallo, che ci dà una riga, non nel giallo, ma nel verde: il tallio. Si potrà domandare, in che cosa consiste la differenza fra la luce gialla e la verde? Rispondiamo, che la qualità della *nota luminosa* del tallio differisce da quella della *nota luminosa* del sodio, come  differisce da  ; ed è questa differenza (intorno alla quale si sa poco o nulla), che ci permette di decidere, all'istante, se si ha del sodio, o del tallio, quando facciamo emettere a ciascun vapore la sua propria luce.

Così, abbiamo trovato, che le sorgenti di luce, possono presentare due caratteri assai differenti. Abbiamo, in prima linea, le sorgenti, che forniscono uno spettro continuo, cioè una completa serie di onde, corrispondente a tutta la sua estensione; poi delle sorgenti, di natura particolare, il cui

Digitized by Google

spettro è costituito da certe righe brillanti, dove cioè sono rappresentate soltanto alcune parti dello spettro completo, perchè sono emesse soltanto alcune parti di un completo sistema di onde.

§ 10. — *Assorbimento della luce.*

Abbiamo veduto, che il mezzo, impiegato dalla luce, per giungere a noi, è l'etere: esso non produce sulla luce, altro effetto, che quello di trasmetterla: ma, se, sul tragitto della luce, si pone qualche cosa d'altro, si possono modificare, in proporzione grandissima, le qualità della vibrazione originaria.

Aggiungendo alla trasmissione, per l'etere, la trasmissione attraverso un vetro rosso o azzurro, gli effetti si alterano distintamente. Nel caso del primo, si aggiunge qualcosa, che lascia passare soltanto il rosso; mentre il secondo trasmette l'azzurro, e trattiene il rosso: e questa è la ragione perchè quel vetro apparisce azzurro.

Qui dobbiamo trattare di un ordine d'esperienze, che ci faranno conoscere i così detti fenomeni di assorbimento; cioè le differenze provenienti, non dalle sorgenti, ma dai mezzi, i quali non aggiungono mai, e sempre sottraggono, o, come si suol dire, assorbiscono. Se, invece di adoperare dei vetri colorati, prendiamo una soluzione di permanganato potassico, osserveremo attraverso lo spettro, certe grosse striscie oscure, indicanti che vi è in natura una classe di corpi, che producono un simile effetto. Un'altra esperienza ci darà un risultato più distinto. Il lettore ricorderà, che il vapore di sodio, era quello, che, aggiunto alla fiamma, nella lampada di Bunsen, dava una luce intensamente

Digitized by Google

gialla. Studiamo l'effetto del vapore di sodio, adoperato come mezzo — non come sorgente di luce, ma come assorbente. Però, dirigiamo la luce bianca della lampada elettrica, attraverso ad una certa quantità di quel vapore, posto, insieme col prisma, davanti allo schermaglio. Al posto della linea gialla, che prima vedemmo comparire, vediamo, sullo schermaglio, una linea oscura.

Questa esperienza ci dà idea di una classe di spettri, di cui abbiamo sulla terra pochissimi esempii; assai probabilmente, in conseguenza delle complesse condizioni molecolari, che si trovano sopra un pianeta raffreddato: classe di spettri, che dobbiamo ricercare negli spazii celesti, e che troviamo in quasi tutte le stelle, che brillano, alla volta del cielo.

Qui pure, possiamo giovarci di un'analogia col suono.

Supponiamo, che in fondo ad una lunga camera si trovi un violino, e che, fra di esso e l'osservatore, collocato all'estremità opposta, sia disposta una serie di violini, tutti accordati col primo. È cosa di fatto, che l'osservatore, in queste condizioni, sentirebbe a stento una nota prodotta sulle corde di quel violino. Perchè? La ragione sta in ciò, che le sue corde, essendo accordate all'unissono con quelle degli altri, le metteranno in movimento; e, pel principio, che non si può mangiare un boccone ed averlo ancora sul piatto, la vibrazione del violino, non potrà mettere in movimento tutte queste corde, e tuttavia propagarsi, fino all'altra estremità della camera, come se nulla fosse accaduto.

Infatti, il lavoro, che l'aria dovrebbe compiere, per rendere la sua vibrazione sensibile all'osservatore, sarà localmente speso, per così dire, sopra la serie dei violini. Per

Digitized by Google

il lavoro speso, scemerà l'ampiezza delle vibrazioni; e il suono riuscirà affievolito.

Questa, come i professori Stokes ed Ångström fecero notare pei primi, è la vera spiegazione del risultato precedente.

Abbiamo quindi, fondandoci sull'analogia, una prova parlante del fatto, che i fenomeni luminosi sono dovuti a vibrazioni delle sorgenti, che ci sono comunicate, non da qualche cosa, che venga materialmente dalla sorgente a noi, ma da corrispondenti vibrazioni, generate nel misterioso etere. Se un'onda sonora, propagandosi nell'aria, o un'onda luminosa, propagandosi nell'etere, trova sul suo tragitto un corpo elastico, atto a ricevere la vibrazione, *possa esso vibrare sufficientemente, per darci un'impressione di luce* (*o di suono*), *o no*, quella vibrazione è arrestata, o affievilita, poichè il corpo simpatizzante, se la porta via, tutta, od in parte almeno.

§ 11. — *I fondamenti dell'analisi spettrale.*

Ciò che emette la luce sono effettivamente le particelle dei corpi in vibrazione, e se questa condizione non ci fosse, non ci sarebbe emissione di luce. Il gas, le fiamme, le candele, il sole, e tanti altri corpi emettono luce, pel fatto, che sono in uno stato di energica vibrazione — in quello stato, per cui generalmente si dicono caldi.

Quanto più caldo è un oggetto, o, in altre parole, quanto più energiche sono le sue vibrazioni, tanto più le vibrazioni delle particelle, donde quell'oggetto si compone, sono complete, stabili, ed intense. La fisica moderna ci insegna, che le pietre, colle quali è fabbricato il Duomo, consistono di

Digitized by Google

milioni e milioni di piccole particelle, chiamate molecole: e, che, sebbene il Duomo sembri assolutamente fermo, nè accenni di volersi movere, ed altrettanto sembri di tutte le sue pietre, pure, se potessimo penetrare nell'intima struttura d'ogni pietra, e d'ogni parte della fabbrica, non vedremmo altro che un procelloso oceano di movimenti. Quanto ci appare come solido ed immobile, è assolutamente in perpetuo stato d'agitazione; ed anzi, è in questo stato medesimo, che consiste la sua stabilità.

Una sorgente di luce, come un solido od un liquido incandescente, che, mediante l'analisi, ci dà uno spettro continuo, differisce da un gas, o da un vapore, che non ce lo dà, e, per conseguenza, non emette luce bianca, per ciò solo che le molecole di questi ultimi corpi, prodotti dall'azione dissociante dell'elettricità e del calore, le quali ci danno quei colori, si distinguono dalle molecole più grosse (de' primi), che danno uno spettro continuo, per essere più semplici di esse, in conseguenza della subita azione del calore e dell'elettricità.

Fondiamo un metallo, come il sodio, o qualche altro, dotato di maggior potere rifrangente; e ciascuno, mentre, al principio, ci darà la bella striscia iridescente, detto spettro continuo, arriverà finalmente ad un certo stadio, nel quale il suo spettro consisterà di uno, due, quattro, otto o fin parecchie centinaia di linee, secondo i casi. Poi vi sono, fra i due estremi, degli spettri intermedii, i quali sembrano dimostrare, che, col procedere dell'azione del calore e dell'elettricità, le particelle, qualunque poi siano, donde è costituita la materia, e che ci danno luce bianca, quando il corpo raggiante è solido o liquido, diventano realmente sempre più semplici, finchè si ottiene lo spettro a righe, di cui si è parlato.

Digitized by Google

Applichiamo questi risultati a quelle sostanze elementari, che possiamo raccogliere e maneggiare, perchè sono alla nostra portata, ed a quelle ancora, intorno alle quali non sappiamo assolutamente nulla, tranne ciò che ne indica lo spettroscopio, cioè i materiali con cui sono fabbricati i singoli corpi celesti.

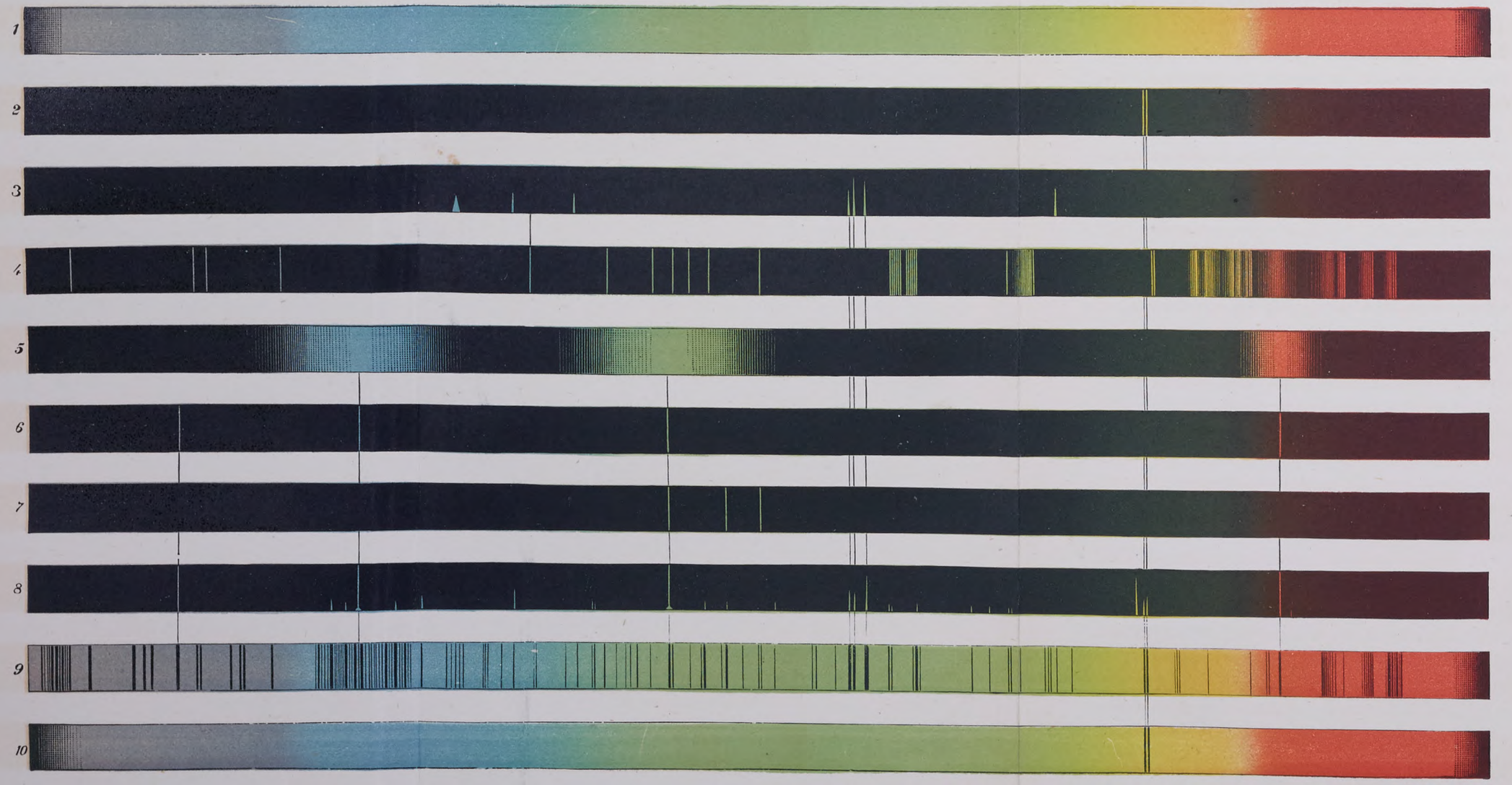
Per riguardo alla materia elementare, abbiamo questo fatto fondamentale, che, se le particelle esaminate emettono luce bianca, lo spettro, che se ne ottiene, è continuo; epperò, se si ha di quella luce, si può asserire, che si tratta di materia solida, liquida, o allo stato di vapore denso, ma non si può distinguere la specie della sostanza raggiante; può essere un metallo qualsiasi: oppure una qualunque delle combinazioni, che resistono alle temperature più elevate; ma non si può decidere se sia bismuto, ossigeno, azoto, o calce. Ma quando si tratta di materia più semplice, le cui particelle, invece di essere abbastanza complesse, od aggregate, per dare luce bianca, sono divise, e danno luce colorata, allora si trova, che non vi sono due sostanze, fra tutte quelle che si conoscono, le quali presentino lo stesso ordine di linee. Da questo fatto, ha origine l'analisi spettrale, poichè lo studio dello spettro, ci permette così, di distinguere una sostanza dall'altra.

Queste sorgenti colorate, queste particelle di materia, altrimenti chiamate molecole, le quali mandano una luce colorata, che, analizzata, ci presenta quelle linee, sono, per verità, cose tanto infinitamente piccole, che oltrepassano i limiti della nostra immaginazione: ma pure sono, nello stretto senso della parola, corpi vibranti, e lo spettro è il risultato delle loro vibrazioni.

Questa idea ci conduce più oltre, e ci permette di affer-

Digitized by Google

Digitized by Google



Di contro a pag.a

SPETTRI DI RADIAZIONE E D'ASSORBIMENTO.

Digitized by Google

mare, non solo che tale spettro appartiene a tale sostanza, ma di più che tale spettro è dato da tale sostanza, fra certi limiti di temperatura; mentre altre condizioni, che saranno particolarmente esaminate in seguito, vi esercitano una certa influenza.

Quindi, studiando un vapore allo stato di sorgente luminosa, si può conchiudere dal suo spettro, la sua composizione chimica, la sua densità, e, grossolanamente, anche la sua temperatura. Lo stesso vapore, impiegato come mezzo, ci dà esattamente lo stesso spettro invertito, per modo che si può scoprire, ad esempio, la presenza del vapore di sodio, così quando emette luce, per mezzo delle sue vibrazioni termiche, come quando è posto fra noi, ed una sorgente, che può alimentarlo colle vibrazioni medesime. Ed in entrambi i casi, abbiamo lo stesso mezzo, per determinare approssimativamente qual'è la sua temperatura, e fra che limiti si trova la sua densità.

È in seguito a considerazioni di questo genere, che possiamo dire, che tutti gli astri del cielo ci hanno rivelato la loro costituzione — cioè gli elementi, donde sono composti, la temperatura a cui si trovano, e gran parte della loro meteorologia: ossia la natura e l'estensione delle loro atmosfere, e la legge secondo la quale esse variano, da ciclo a ciclo.

L'annessa tavola colorata (Tav. II) rappresenta, in un quadro, tutti gli spettri, di cui si è parlato, in questo capitolo.

Il primo gruppo (dall'1 all'8 inc.) si riferisce all'emissione di luce — ciò che, in linguaggio scientifico, si chiama radiazione. Nella radiazione si studiano le vibrazioni delle molecole, trasmesse dall'etere, per ogni lunghezza d'onda.

Digitized by Google

Il secondo gruppo (9 e 10) si riferisce all'assorbimento. Nell'assorbimento si studia, per ogni lunghezza d'onda, la struttura molecolare dei corpi assorbenti, e le vibrazioni eteree, arrestate o affievolite, dall'incontro con essi.

Il primo gruppo si suddivide in due. In uno abbiamo lo spettro continuo — la serie completa delle onde luminose, che si vede sempre, quando si considera l'emissione di un corpo, semplice o composto, che, allo stato d'incandescenza, conserva lo stato liquido o solido. Una paletta arroventata, il ferro rovente, sono esempii famigliari di queste sorgenti.

In 2-8 abbiamo esempii dei così detti spettri a righe, prodotti dalla radiazione luminosa dei gas e dei vapori. Qui si richiede un più minuto esame. In 2,3 sono rappresentati gli spettri appartenenti a due metalli elementari: potassio e magnesio. Si vede tosto come siano differenti, e come sia facile di fissare in mente, e di registrare, quell'ordine di linee; per modo che, quando siano presentate da una sostanza ignota, si possa, col semplice esame spettrale, decidere della presenza dell'uno o dell'altro metallo. Se in questa parte della tavola si fossero rappresentati gli spettri di tutti i metalli, allo stato di vapore, apparirebbe ancora a sufficienza, come ciascuno è così distinto dagli altri, che ci vuol ben poco, per rilevarne le differenze. In 4 abbiamo un esempio dello spettro di un corpo composto: il caso rappresentato è quello di un sale di stronzio; — gli altri sali hanno spettri altrettanto caratteristici. Qui vi è pure una completa distinzione da 2-3; e una dissimiglianza egualmente completa si osserva negli spettri dei composti, che si trovano ordinariamente allo stato di gas. In 5 e 6 vi sono linee brillanti, che occupano la stessa posizione, ma sono

Digitized by Google

larghe in un caso, e sottili nell'altro. È la stessa sostanza — l'idrogeno — a diverse pressioni.

In 7 ed 8 abbandoniamo la terra, e cerchiamo esempii nel cielo; gli spettri, ivi rappresentati, sono quelli delle nebulose, e dell'atmosfera del sole. Salta subito all'occhio il fatto, su cui si fonda l'asserzione, che l'idrogeno esista in certe nebulose, ed il sodio, il magnesio, e l'idrogeno, nell'atmosfera solare.

In 9 abbiamo lo spettro solare colle righe prodotte dall'assorbimento. In 10 vediamo l'assorbimento prodotto dal vapore di sodio, in laboratorio. La coincidenza delle due righe, nel giallo, ci fornisce la base della chimica solare e stellare.

In questa tavola, mi sono limitato, per semplicità, a quegli spettri, che contengono righe. Tuttavia, si vedrà, in seguito, che tutti i corpi hanno un'altra specie di spettro, diverso per ciascheduno, e detto *spettro a colonnato (fluted or chanelled)*. Questi si considereranno minutamente, a suo luogo, unitamente ad altri, che sono identici, o press'a poco, per molti corpi, e probabilmente per tutti. Ma qui dovremmo entrare alquanto nei dettagli; epperò conviene di terminare, a questo punto, questo capitolo d'introduzione, e passare all'esame di alcuni dei metodi sperimentali, impiegati per produrre il fenomeno.

Digitized by Google

CAPITOLO II.

METODI DI DIMOSTRAZIONE ED ESPERIENZE DA LABORATORIO.

Ebbi altre volte occasione, di trattare della costruzione dello spettroscopio [1]; mi propongo quindi, nel presente capitolo, di parlare, specialmente del modo di adoperare questo apparecchio, in laboratorio, e dei varii metodi per dimostrare i fenomeni spettrali.

Però, credo opportuno di richiamare, che lo spettroscopio, semplice o complesso che sia, è un apparecchio, che ci permette di osservare, nelle migliori condizioni, l'immagine della fessura, per la quale entra la luce, senza distinzione di colore. Se la luce introdotta contiene raggi d'ogni lunghezza d'onda, le immagini corrispondenti a ciascheduno sono così vicine, che lo spettro si presenta continuo, cioè, senza interruzioni. Se, invece, la luce, contiene soltanto certi raggi, sia per l'incompleta radiazione della sorgente, sia per effetto di un subito assorbimento, allora invece di tutte le possibili immagini della fessura, ne otteniamo soltanto alcune, e lo spettro apparisce discontinuo.

[1] *The Spectroscope and its applications* (Lo spettroscopio e le sue applicazioni) per J. Norman Lockyer — Macmillans.

Digitized by Google

§ 1. — *Uso della lente.*

Comincerò, col richiamare l'attenzione, sulla differenza che passa fra gli ordinarii spettroscopii, e quelli che hanno una lente, davanti alla fessura. Ecco l'ufficio della lente: — Se vi ha una sorgente luminosa, estremamente complessa, per esempio, un solido ed una miscela di gas, e lasciamo entrare la luce nello spettroscopio, per così dire, alla rinfusa: allora, in ogni parte dello spettro, abbiamo una somma di tutti i raggi d'eguale lunghezza d'onda, che emanano dalle singole origini. Se, invece, per mezzo di una lente, si forma un'immagine della sorgente luminosa, tale, che ogni sua parte, sia proiettata, al suo proprio posto, nello spazio della fessura, allora, nello spettro, i raggi di diversa provenienza saranno spartiti; e, se vi saranno differenze, fra i fenomeni presentati dalle diverse sorgenti, queste compariranno distintamente nello spettro, portato nel campo visibile del cannocchiale, con cui si osserva, o nella fotografia, se una fotografia ne risulta.

Con una semplice esperienza, che ognuno può ripetere da sè, si può mostrare chiaramente la differenza dei risultati. Se, ad esempio, si osserva la luce di una candela collo spettroscopio, nel modo ordinario, cioè, ponendo la fiamma, davanti alla fessura, a piccola distanza, si vede, prima di tutto, una striscia iridescente, — lo spettro continuo — e in una parte speciale di essa, una linea gialla; qualche volta, per avventura, anche altre linee, nel verde e nell'azzurro. Ora, facciamo che lo spettroscopio, che, senza lente, è *integrante*, per usare di una frase assai appropriata del prof. Young, diventi *analizzante*, col *proiettare sulla fessura*

Digitized by Google

l'immagine della fiamma, essendo l'immagine verticale, e la fessura orizzontale; avremo allora tre distinti spettri. Troveremo, in questo caso, che l'interno della fiamma, parte azzurra, che apparisce più distintamente in basso, ci dà uno spettro: la parte bianca, un altro: mentre la parte esterna, così debolmente luminosa, che appena si vede, ci dà uno spettro caratteristico, con una linea nel giallo. A questo modo, senza difficoltà di sorta, si determina la coesistenza delle tre sorgenti luminose, nella luce dell'unica fiamma.

Il metodo per osservare gli spettri, che ho descritto, e che fu adottato in quasi tutti gli esperimenti, citati in seguito, consiste adunque nel proiettare, sulla fessura dello spettroscopio, un'immagine della sorgente, adoperata in laboratorio: nel modo stesso, che io proponeva, fin dal 1866, di proiettare un'immagine del sole, allo scopo di esaminare piccole porzioni del disco, o dell'atmosfera, che lo circonda.

È chiaro, che, con questo metodo, si associa, nello spettroscopio, l'immagine della fessura, con quella di una sezione della sorgente luminosa, e se questa fosse una scintilla elettrica, e, per una circostanza qualsiasi, vi fossero, intorno ai due poli, diversi strati di vapore, con spettri differenti, questi si distinguerebbero, onde si potrebbe osservarne le variazioni, da un polo all'altro.

Questo metodo fu adoperato dal dott. Frankland e da me negli esperimenti, da noi eseguiti nel 1869; ed esposto, per la prima volta, in una lettura, fatta alla *Royal Institution,* nel 1870. Più recentemente, lo impiegò, con molto successo, il sig. Salet, in una ricerca sugli spettri dei metalloidi.

Le disposizioni adottate si rileveranno facilmente dall'annessa incisione (fig. 14), la quale rappresenta uno spettro-

Digitized by Google

scopio, con una lente, davanti alla fessura. È appena necessario di aggiungere, che un' importante condizione, è, che l'obbiettivo del collimatore sia ben illuminato, e che nes-

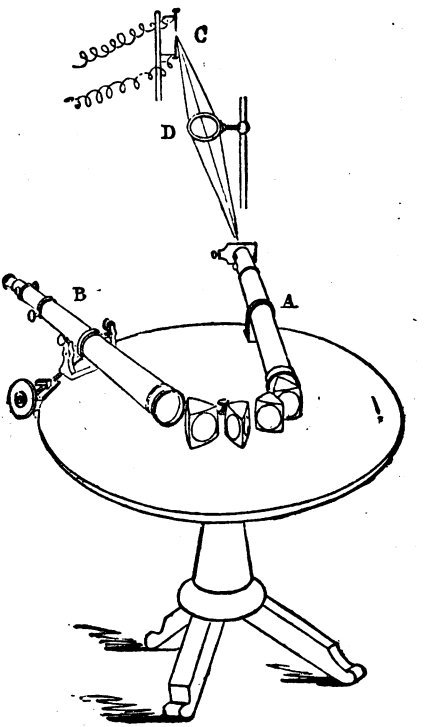


Fig. 14. — Spettroscopio analizzante.

A. Collimatore.
B. Cannocchiale.
C. Scintilla.
D. Lente.

suna quantità di luce vada dispersa. A questa condizione, si possono usare diverse lenti, e fochi coniugati; come pure si può variare, a piacimento, la grandezza della fessura; ed in tutti i casi ordinarii si avrà uno spettro abbastanza brillante.

Digitized by Google

Noi riduciamo in vapore il metallo, donde sono composti i poli, rappresentati in C (fig. 14); il vapore si rende incandescente; quindi lo spettro consisterà di linee brillanti. Ora, se, invece di limitarci a presentare lo spettroscopio ai due poli, nel qual caso, in ogni parte dello spettro, si avrebbe della luce, proveniente da tutti i punti della scintilla, adoperiamo una lente, col cui mezzo produciamo nella fessura un'immagine di essa, allora, in ogni lista del complessivo spettro visibile, vi è lo spettro di qualche parte speciale di vapore. I poli sviluppano continuamente del vapore,

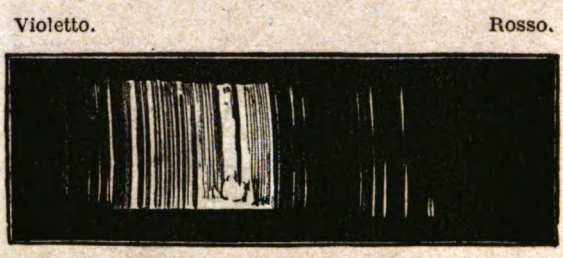


Fig. 15. — Copia di una fotografia dello spettro della scintilla fra poli di zinco e cadmio: dove si vede la separazione dei tre spettri.

che si va raffreddando, e disperdendo: parte ossidandosi, parte dissipandosi, colle correnti d'aria suscitate. Che cosa ne consegue? — che ve ne dev'essere maggior quantità, in prossimità dei poli, che non nel frapposto intervallo; e tanto più, se si aumenterà l'intervallo medesimo. Se i due poli sono di due diversi elementi, si produrranno tre spettri distinti (fig. 15). Nella parte superiore apparirà una regione ricca del vapore più basso: nella parte inferiore una regione ricca del vapore più alto, ed una frammezzo, ricca nè dell'uno nè dell'altro. Così abbiamo, nello spettro, come tre strati, almeno: e cioè gli spettri del vapore superiore, del vapore

Digitized by Google

inferiore, e della regione centrale. Il numero delle particelle dei singoli vapori, decrescerà, collo scostarsi dai rispettivi poli.

Si vede, a prima vista, che si produrrà una condizione di cose, assai somigliante, se, invece di una scintilla, adò-

Fig. 16. — Immagine di un arco orizzontale di vapore di sodio, proiettato sopra una fessura verticale (da una fotografia).

pereremo un arco elettrico, nel quale il solo vapore della sostanza, resa incandescente, occupi tutto l'intervallo fra i due poli; il numero delle particelle diminuendo ai *lati* dell'arco. Possiamo proiettare l'immagine di un tale arco *orizzontale*, sopra una fessura verticale; la quale così ci darà lo spettro di una sezione, ad essa perpendicolare. Nella

Digitized by Google

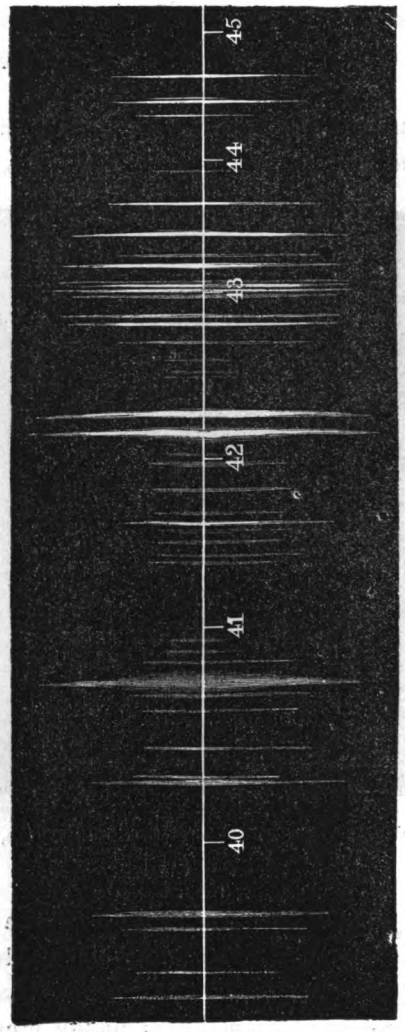


Fig. 17. — Righe lunghe e brevi.

La figura è tolta da una fotografia, presa mentre il sale di stronzio, fortemente impregnato di calcio, si faceva vaporizzare fra i poli di carbone di una lampada elettrica, disposti orizzontalmente. Le due righe più lunghe, fra 42 e 43 sono dovute allo stronzio e al calcio. — La più lunga tra 40 e 41 si deve allo stronzio. — Le quattro righe brevi a sinistra sono dovute ad impurità del calcio, e ad alluminio contenuto nel carbonio dei poli.

fig. 17 presentiamo la riproduzione di una fotografia di simile spettro. Si ponga attenzione alle linee lunghe e brevi.

Digitized by Google

Il vapore, che si trova lontano dal nucleo dell'arco, dà uno spettro assai più semplice, di quello, che si trova nel nucleo

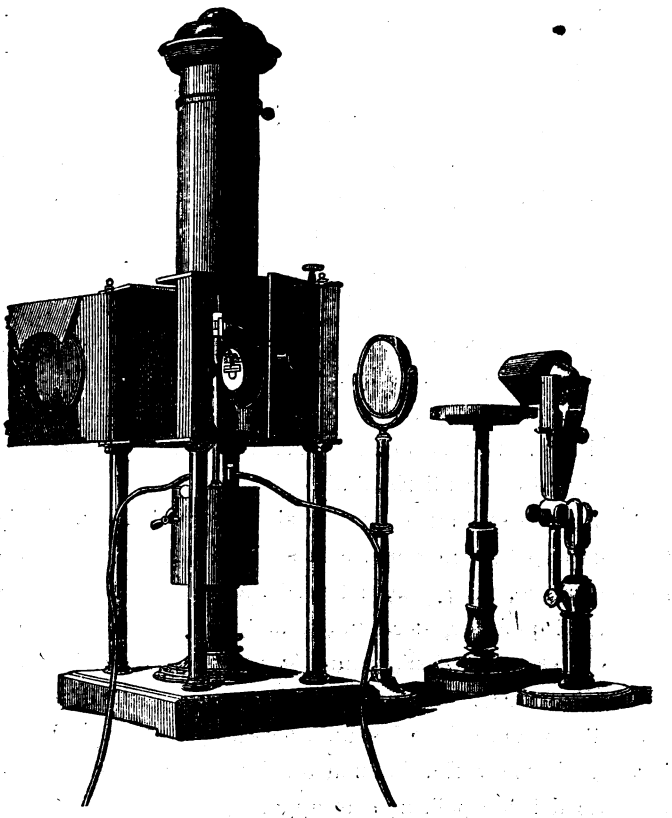


Fig. 18. — Disposizione della lampada elettrica, per dimostrare l'esistenza delle righe lunghe e brevi.

medesimo. Lo spettro del nucleo consiste di una grande quantità di linee: le quali vanno scemando di numero: finchè quello delle regioni più laterali si riduce ad una linea sola.

Digitized by Google

Per dimostrare queste differenze analoghe a quelle che si osservarono nell' esperienza della candela — esprimiamoci così — mediante la lampada elettrica: adoperiamo, in primo luogo, i poli, come sorgente di luce bianca, nel modo ordinario; ed aggiungiamo alla parte inferiore una sostanza particolare, che ci dia la brillante linea gialla, osservata in quell'esperienza. Otterremo così una sorgente mista, e quindi, se, col metodo ordinario, sommiamo i diversi raggi, uno spettro misto, nel quale si mescoleranno le due luci. Ma si può adottare una disposizione diversa.

Usando la luce elettrica, non conviene di produrre nella fessura l'immagine dei punti dell'arco: ma si ottiene quasi lo stesso risultato, collocando la fessura assai vicino ai punti stessi. Nella fig. 18 la fessura è quasi a contatto colla sorgente luminosa: per modo che, se gli spettri delle diverse parti di essa presentano delle variazioni, si avranno sullo schermaglio differenti risultati.

Col metodo ordinario, quando si adopera il sodio, si ottiene uno spettro continuo, e la serie di quattro doppie righe nel rosso, nel giallo, nel verde, e nell'azzurro, caratteristiche di quel corpo: col nuovo metodo, mantenendo sempre le stesse condizioni, tranne la posizione della fessura, si hanno apparenze distintamente diverse da quelle di prima.

Si ottengono le linee brillanti, senza spettro continuo; la loro lunghezza varia, dall'una all'altra; ed aumentando la distanza dei due poli, non ne appare più che una sola, assai più luminosa. La linea gialla, nel caso del sodio, rimane, dopo che tutte le altre si sono considerevolmente sbiadite, ed anche dopo che sono scomparse.

Questo è un esempio, che mostra qual differenza presenti il fenomeno, quando si osservi col nuovo metodo.

Digitized by Google

Infatti, lo spettroscopio così armato si può dire un nuovo strumento.

§ 2. — *Fenomeni di radiazione.*

Lo studio dei varii metodi, per applicare lo spettroscopio, si può opportunamente dividere in due parti distinte: trattando nella prima della radiazione, e nella seconda dell'assorbimento. — Ora, per ottenere radiazioni da un corpo qualsiasi, bisogna, in qualche modo, metterlo in vibrazione. Per una certa classe di sostanze, — indicherò poi qual classe, — si trova che le vibrazioni necessarie alla radiazione sono convenientemente eccitate dal calore. In altri casi, invece, il calore non ci serve punto, onde, come altrove fu notato, dobbiamo ricorrere all'elettricità; e il sussidio, che ci presta il calore ad un'estremità della scala, ce lo rende, all'altro estremo, l'elettricità, con altrettanto vantaggio.

Lo strumento, adoperato in generale, per mostrare l'azione del calore sui sali di quasi tutti i metalli, è la lampada di Bunsen, posta, con una lente o senza, di fronte all'apertura dello spettroscopio. I fenomeni manifestati da questi corpi non si possono, sfortunatamente, projettare sopra uno schermaglio, per mezzo della luce elettrica; poichè l'elettricità agisce così diversamente dal calore, che, se tentassimo di applicare ad un sale metallico la luce elettrica, si avrebbero istantaneamente fenomeni di natura affatto diversa.

Una diversa classe di apparecchi è necessaria, quando si vuol adoperare, non il calore, ma l'elettricità, come sorgente di luce, sia nel caso di solidi, come in quello di gas. Nel primo caso, si fa passare la scintilla prodotta da un

Digitized by Google

rocchello di induzione fra diversi metalli opportunamente disposti sopra una specie di anello, sulla cui superficie è posta una serie di morsette, che, mediante la rotazione dell'anello, si possono portare successivamente sotto un'unica morsetta fissa. Si può disporre in modo, che la corrente passi, quando i due elettrodi, l'uno mobile e fisso l'altro, si trovano in linea verticale, di fronte alla fessura. Il grande vantaggio del metodo sta in ciò, che, prima di eseguire una serie di esperimenti, si può caricare parecchi di questi sostegni coi metalli, che si vogliono osservare, e quindi farli successivamente girare davanti alla fessura dello spettroscopio. Allo scopo di meglio vedere gli spettri, è necessario di ben regolare la distanza dei due elettrodi, fra cui scocca la scintilla; e, se si fa uso di una bottiglia di Leida, di prenderne una abbastanza grande, perchè lo sviluppo delle scintille sia, più che si possa, costante.

Per osservare, impiegando sempre la scintilla, lo spettro dei sali, conviene usare il metodo seguente [1]: Si prende un grosso filo d'alluminio, del diametro di tre millimetri e della lunghezza di dieci. Si batte ed appiana un'estremità, fino ad un terzo della lunghezza, all'incirca, allo scopo di introdurlo nella morsa dello spinterometro, e si trafora l'altro, nella direzione dell'asse, per un tratto, da due a tre millimetri, formando così una piccola capsula conica. Si apre poi un piccolissimo foro laterale, corrispondente al fondo della capsula; e, con gran diligenza, si pratica un taglio nell'estremo battuto. Nel foro laterale s'introduce un filo di platino del diametro di 0,5 millimetri; e, mentre si spinge un suo estremo fino nel centro della capsula, s'incurva

[1] Questo metodo fu immaginato dal sig. Friswell.

Digitized by Google

l'altro, e lo si fa passare nel taglio dell'estremità appianata. Ciò fatto, si serra questo taglio in una morsa, e si tronca ciò che cresce del filo di platino. Allora il sistema si può paragonare ad una candeletta, dove il platino fa da

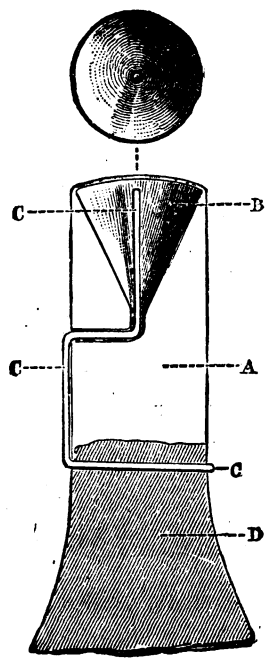


Fig. 19. — Pianta e sezione della capsula, che si adopera pei sali. *A*, Filo d'alluminio; *B*. Cavità, in forma di capsula, scavata in esso; *C*, filo di platino; *D*, parte battuta e tagliata del filo d'alluminio.

stoppino. Le annesse figure (fig. 19 e 20), serviranno di schiarimento. L'ufficio dello *stoppino* è di limitare la scintilla al centro del sale disseccato. Senza di esso, la scintilla non manterrebbe una posizione determinata, ma salterebbe

Digitized by Google

ora in un punto del recipiente, ora nell'altro. — Intorno allo stoppino stesso, si comprime il sale ridotto in fina polvere.

Una capsula simile, senza platino, si può usare per esaminare lo spettro del bario, dello stronzio, del litio, ecc., allo stato metallico, il metallo essendo battuto nella sua cavità.

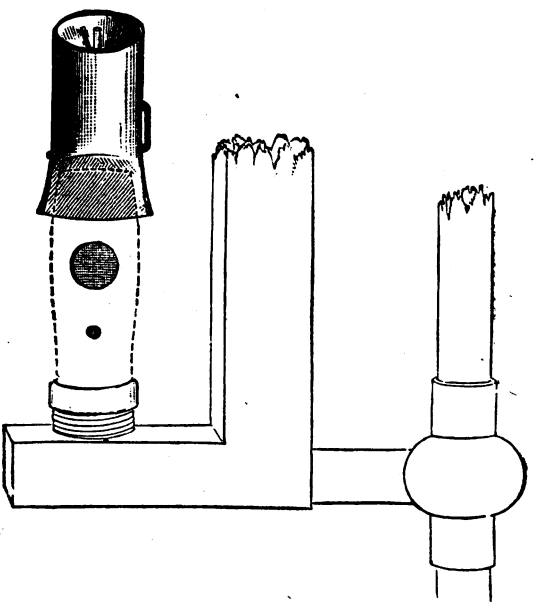


Fig. 20. — Capsula d'alluminio, posta nello spinterometro.

Una di queste capsule, col relativo sale, si sostituisce, nello spinterometro, al polo inferiore; il superiore si può fare di rame, poichè questo metallo è buon conduttore, e dà uno spettro semplicissimo, e facilmente riconoscibile.

Quando si voglia osservare lo spettro dei sali, in gas diversi dall'aria, si comprime la polvere nella capsula d'al-

Digitized by Google

luminio, e si salda il filo ad una verghetta di rame, introdotta, per un turacciolo, in un grosso tubo di vetro. Per polo opposto, si adopera una punta d'alluminio, essa pure saldata ad una verghetta di rame, che passa per un turacciolo, introdotto nell'altro estremo del tubo. I due turaccioli sono entrambi perforati, e muniti di sottili tubi di vetro, l'uno dei quali serve per l'entrata del gas, e l'altro per lo sfogo.

Si fa entrare il gas, assai lentamente, nel tubo, che contiene i poli, e si fa scoccare la scintilla.

Anche, per lo studio dei gas, si può adoperare un sostegno girevole. Si dispone una serie di tubi di Geissler, contenenti diversi gas assai rarefatti, in modo che, quando ciascuno, girando il sostegno, si presenta alla fessura, viene a contatto con una punta metallica, e il gas si rende luminoso. A questo modo, si può fare un numero considerevole di osservazioni e di confronti, in un tempo brevissimo. Per osservare i gas alle ordinarie pressioni, si dispongono gli elettrodi, in modo da poterne variare la distanza, in un tubo, attraverso il quale si può produrre una corrente di quel gas qualsiasi, che si tratta di sottoporre ad esame.

Capita spesso di osservare, oltre gli spettri dei vapori e dei gas, quelli delle soluzioni.

Vi sono molti modi di eseguire l'esperienza. — S'introduce la soluzione in una piccola capsula, finchè affiora coll'estremità di una punta di platino, fissata nel fondo. Un'altra punta di platino si connette all'elettrodo superiore, e così si può osservare abbastanza bene lo spettro. Tuttavia, questa maniera d'operare va soggetta alla grave obbiezione, che la quantità di soluzione, posta fra i due poli, va continuamente cambiando; epperò, affatto recentemente, due

Digitized by Google

allievi del signor Dumas, i signori Delachanal e Mermet, hanno immaginato un'interessantissima modificazione. Essi

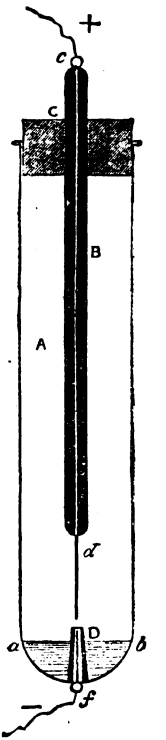


Fig. 21. — *A*, tubo lungo 11cm, nel quale s'introduce il liquido, da analizzare; *B*, tubo capillare, in cui si fissa il filo di platino *cd*, che fa da elettrodo superiore; *C*, turacciolo di sughero, che chiude il tubo A — esso sostiene B, e permette di muoverlo a dolce sfregamento; *D*, piccolo tubo capillare, leggermente conico, che copre l'elettrodo inferiore *E*; *d*, elettrodo superiore; *f*, elettrodo inferiore; *ab*, livello del liquido.

adoperano una provetta ordinaria, munita in fondo di una punta di platino, saldata nel vetro, e chiusa da un turac-

Digitized by Google

colo, attraverso il quale si fa entrare un tubetto di vetro, trapassato da un filo di platino. La disposizione più interessante è questa: S'introduce la punta inferiore in un pezzettino di tubo capillare, e si regola l'altezza della soluzione in modo che parte di essa, per capillarità, salga nello spazio fra il metallo ed il vetro, e riempisca il piccolo recipiente. Quando esso è riempito, il liquido trabocca; epperò si mantiene la più perfetta costanza.

Questo metodo offre i seguenti vantaggi:

1. Costanza di scintille, che permette di prolungare l'osservazione degli spettri. — 2. Soppressione del menisco, e quindi dell'assorbimento, ch'esso produce, nascondendo parte della scintilla. — 3. Gli elettrodi sono chiusi in un tubo speciale, che preserva la soluzione dalle impurità. — 4. Possibilità di raccogliere tutta la sostanza esaminata. — 5. Possibilità di disporre una serie di tubi spettroscopici, racchiudenti soluzioni di diversi corpi, in modo da poter eseguire rapidamente dimostrazioni e confronti.

Per mettere in azione l'apparecchio, si versa nel tubo A la soluzione da studiare, ponendo attenzione, che il reoforo *f*, e il tubetto D non siano sommersi, che per metà. Sia *a b* il livello del liquido; la forza capillare lo fa salire fino al punto D, dove si forma una goccia stazionaria, che si vaporizza, quando si fa passare la corrente d'induzione tra *e* ed *f*. Le osservazioni si possono continuare, senza interromperle, per lungo tempo, studiando e ricavando gli spettri, con tutta comodità.

Vi è anche un altro metodo, assai conveniente, per osservare gli spettri delle soluzioni, che io ho recentemente adottato. Prendiamo uno di quei piccoli getti di vapore, che, con tanta utilità, sono, spesse volte, adoperati dai fisici

Digitized by Google

(fig. 22). L'apparecchio consiste di un bollitore munito di una sola apertura piccolissima, che si riempie d'acqua, e di un fornello, che la fa bollire; si ottiene così un getto di vapore, che colpisce un sottile tubo di vetro, immerso, per la sua estremità inferiore, in una bottiglia contenente la soluzione. Quando l'acqua comincia a bollire, si ha tosto il getto di vapore, il quale rarefa l'aria del tubo; la rarefazione produce la salita del liquido fino al piccolo foro, che

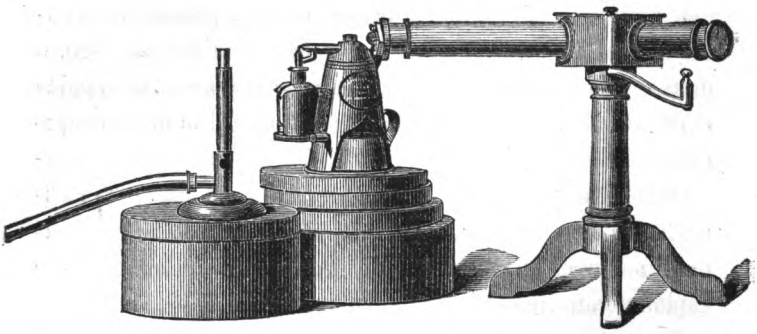


Fig. 22. — Esame dello spettro di una soluzione, soffiando la sostanza disciolta, in una lampada di Bunsen.

si trova alla punta, raggiunto il quale, si ha la soluzione allo stato di finissima schiuma, che è sempre il più favorevole, per osservare fenomeni di questo genere. Se si mette in opera il getto, e lo si fa agire sopra una lampada di Bunsen, la fiamma, per tutta la sua estensione, sarà impregnata dal sale in soluzione.

È un peccato, che non si possano dimostrare questi fenomeni ad un pubblico numeroso.

Che, se prendiamo i sali e gli esponiamo all'azione della elettricità, nella lampada, per una ragione, che esporremo

Digitized by Google

a suo luogo, si ottengono, non gli spettri caratteristici dei *sali*, ma quelli dei *metalli* puri.

§ 3. — *Fenomeni d'assorbimento.*

Quando dai fenomeni generali di radiazione, cioè dallo studio dei diversi metodi per ottenere delle sorgenti luminose, e per osservare gli spettri, passiamo ai fenomeni di assorbimento, veniamo in un campo, dove i processi sperimentali sono di tutt'altra specie. Nello studiare questi fenomeni, non abbiamo più da osservare le diverse qualità di luce emesse dai corpi; ma sibbene l'azione dei diversi corpi sulla luce composta di raggi d'ogni visibile refrangibilità.

Ora, la luce che si può adoperare nelle piccole esperienze da laboratorio, in queste interessantissime indagini, può essere quella di una candela, del gas, o di qualunque altra sostanza, che irradii luce bianca; ma i maestri, per scopo di dimostrazione, preferiscono d'impiegare quella della lampada elettrica, che è la più intensa luce bianca, che si possa avere.

Scelta la sorgente, per studiare l'assorbimento dei diversi corpi, non si ha da far altro, che immergerli nella luce irradiata da essa.

Finchè si tratta di solidi, come, ad esempio, di vetri diversamente colorati, basta disporre il corpo davanti alla fessura dello spettroscopio, e quindi, nel caso di una dimostrazione, davanti all'apertura della lampada elettrica; poi osservare qual luce particolare è trattenuta. Ma, come per la radiazione, le nostre indagini non si limitano ai solidi; vogliamo verificare che cosa accade, quando si fa passar

Digitized by Google

la luce per un vapore, per un gas, o per un liquido. — Però si possono impiegare diversi processi. Prendiamo, per esempio, il caso di un vapore. Lasciamo da parte i gas perma-

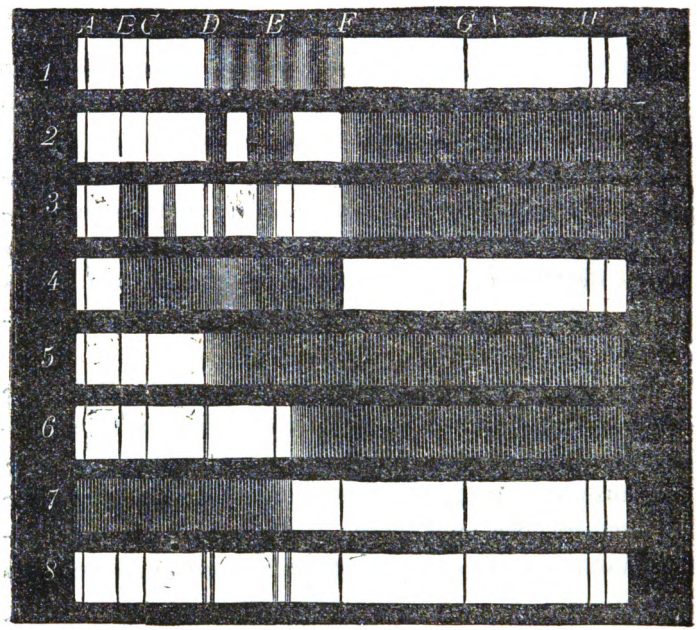


Fig. 23. — Diagramma, che mostra le varie specie di assorbimento, e l'assorbimento caratteristico di certi corpi: 7, Assorbimento dell'estremità rossa dello spettro; 5 6, assorbimento dell'estremità azzurra; 1, assorbimento caratteristico del permanganato di potassa; 2, detto del sangue; 3, detto della clorofilla; 4, detto del vetro di cobalto (la struttura caratteristica non è data); 8, detto del vetro di didimio.

nenti, perchè sono incolori, cioè il loro assorbimento oltrepassa i limiti della nostra visione. Invece, alcuni vapori manifestano un colore ben distinto; il che significa, che il vapore assorbisce una specie di luce, nei limiti della nostra

Digitized by Google

visione. Se il colore è molto intenso e definito, dobbiamo curarci di impiegare soltanto un piccolo strato; epperò conviene di adoperare un tubo. Lo si colloca di fronte alla fessura, davanti alla sorgente luminosa, per modo che un raggio costante di luce bianca lo traversi comodamente; e, guardando nello spettroscopio, si osserva la qualità della luce assorbita. Se il vapore è colorato meno intensamente, conviene usare di un tubo, più lungo; che, se pare incoloro, e tuttavia vi hanno ragioni per aspettarsi qualche assorbimento, useremo di un tubo lunghissimo. Così, per osservare lo spettro d'una miscela di ozono e di ossigeno, io ho preparato un tubo, per mezzo del quale la luce, prima di arrivare allo spettroscopio, attraversava 120 piedi (circa 40 metri) di gas. Il tubo propriamente non era lungo che 40 piedi; ma, per mezzo di due specchi posti agli estremi, si faceva andare la luce lungo il tubo, prima in una direzione, poi nell'altra, poi di nuovo nella prima; finchè, dopo tre trasmissioni, la si lasciava entrare nello spettroscopio.

Simili tubi sono assai opportuni, per osservare i vapori alle ordinarie temperature; ma non si potrebbe limitarsi qui, perchè moltissime sostanze, a queste temperature, non danno vapore. Di elevate — talora di elevatissime — è necessario far uso, quando si voglia osservare il vapore del sodio, del platino, del ferro, o d'altri metalli. Per tale scopo, si adopera un fornello, in cui si dispone un tubo di ferro; lo si mantiene pieno d'idrogeno, e, quando è rovente o incandescente, per mezzo di un tubetto laterale, vi s'introduce il corpo da esaminare. Questo scivola, e cade nella parte arroventata. Si colloca una lampada elettrica ad un estremo, ed uno spettroscopio all'altro, e, con tal disposizione, si può studiare abbastanza bene l'assorbimento dei vapori, a temperatura non molto elevata.

Digitized by Google

Il tubo di ferro è lungo quattro piedi (un metro ed un terzo), presenta al centro un rigonfiamento, che mi fu suggerito dal prof. Dewar, e forma un pezzo a T, per l'aggiunta di un tubo laterale, riunito a vite, il cui estremo esce dallo sportello praticato nella vôlta del forno. Le estremità del tubo principale sono chiuse a vite da coperchii, muniti di una lastra di vetro, e di un tubetto, che serve a far passare l'idrogeno od altri gas. Il fornello si carica di coke o

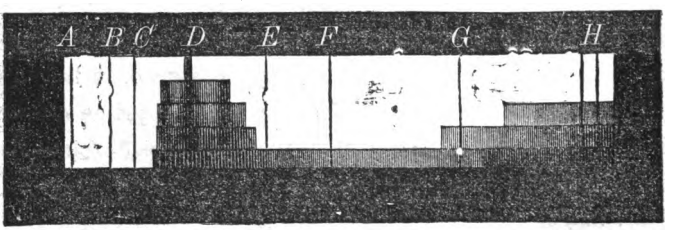


Fig. 24. — Assorbimento di strati di diversa grossezza, di materia colorante di litmo.

di carbone. Le temperature raggiunte dal forno si possono distinguere in quattro stadii:

I. Quando lo spettro continuo del tubo si estende fino alla linea del sodio D, invisibile.

II. Quando lo spettro medesimo si estende alquanto oltre la linea D, visibile come un tratto brillante.

III. Quando lo spettro invade il verde, la linea D essendo luminosissima.

IV. Quando lo spettro oltrepassa il verde, D diventa invisibile come linea, e le pareti della fornace sono roventi.

Quando si tratta di metalli, come il sodio ed il potassio, si deve porre attenzione ad una circostanza particolare. Si fondono lentamente questi metalli nella paraffina, e, fusi

Digitized by Google

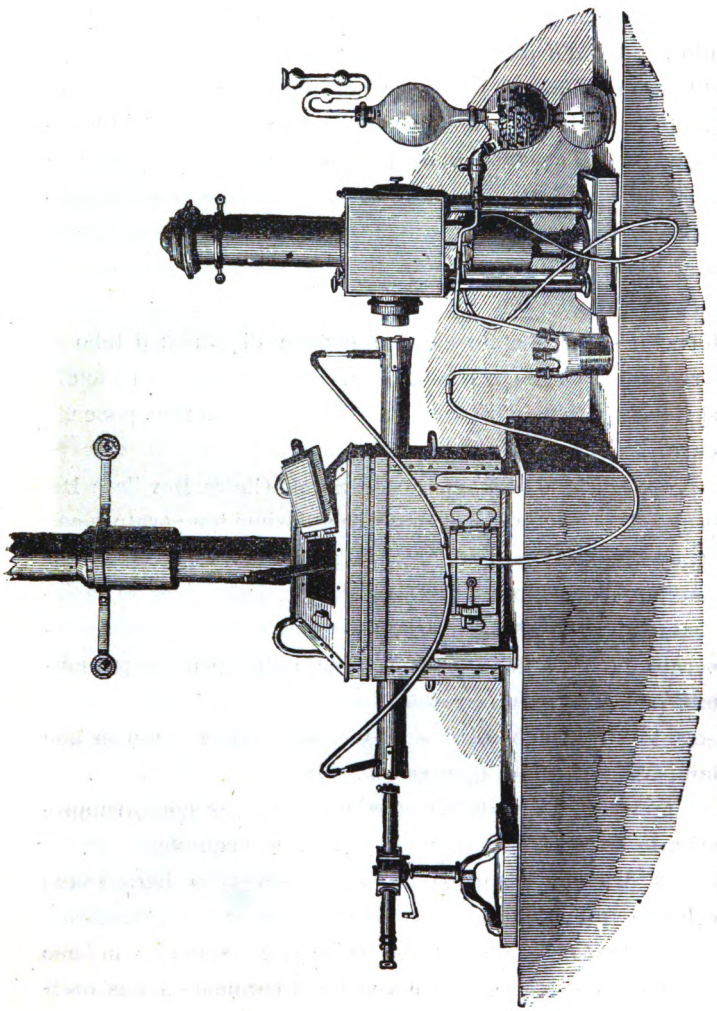


Fig. 25. — Apparecchio per osservare lo spettro d'assorbimento dei vapori metallici.

che siano, si aspirano in sottili tubi di vetro — metodo proposto dal prof. Dewar. Quando si vuol osservare lo spettro,

Digitized by Google

si rompe una parte del tubo, che contiene il metallo. Il tubo allora, non solo protegge il metallo dall'ossidazione, ma costituisce una specie di veicolo, nel quale esso scivola lungo l'adito inclinato, fino nella cavità centrale, senza alcuna difficoltà. Senza questa precauzione, il metallo aderirebbe alle parti del tubo laterale, ed ivi si fonderebbe, e si trasformerebbe in vapore, invece di cadere in fondo, e di emettere i suoi vapori nella cavità.

Se si richiede una temperatura più elevata, all'ordinario fornello se ne sostituisce uno capace di darla: il tubo di ferro si rimpiazza con uno di terra refrattaria, e i metalli si riducono in vapore col cannello a gas ossidrico, ponendo cura di avere un eccesso d'idrogeno.

L'apparecchio immaginato da Sainte-Claire Deville e Debray [1], permette di raggiungere altissime temperature con grande facilità; e Stas ha impiegato il loro processo, per distillare l'argento [2]. La disposizione della calce fu modificata in quello che ora passo a descrivere, e che fu adoperato da me e dal signor Roberts, affinchè il vapore metallico possa essere condotto in un tubo, o canale, di calce, portato al calor bianco, e così posto, che i raggi di una lampada possano attraversarlo.

L'apparecchio usato, in queste ricerche, è quello rappresentato dalla fig. 26, dove A è una sezione verticale del blocco di calce, passante per l'asse del tubo BB'. Il tubo è lungo 16 centimetri, e ha il diametro di 30 millimetri. Il recipiente C comunica col centro di BB' e si apre, alla base superiore del blocco, per ricevere il cannello a gas ossi-

[1] *Annales de Chimie et de Physique,* t LVI, p. 413.

[2] Stas. *Sur les lois des proportions chimiques,* pag. 56.

Digitized by Google

drico D, provvisto di una grossa appendice di platino, del diametro di 20 millimetri. Le estremità del canale, praticato nella calce, sono chiuse da lastre di vetro, opportunamente

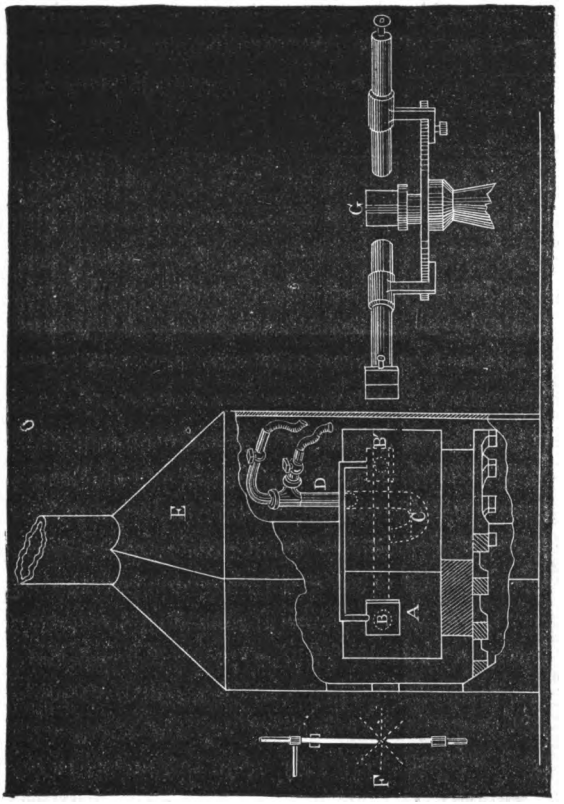


Fig. 26. — Apparecchio per osservare gli spettri d'assorbimento dei metalli ridotti in vapore, dalla fiamma ossidrica.

sostenute da morse. Finalmente, nei lati del blocco, sono aperti dei fori per l'inserzione di canne di terra da pipa, per mezzo delle quali si fa passare una corrente d'idrogeno nel tubo e nel recipiente.

Digitized by Google

Una lampada elettrica F, unita ad una pila di trenta coppie Bunsen, si disponeva di fronte ad una estremità del tubo, ed uno spettroscopio G, di fronte all'altra.

Ove si desideri di prolungare la colonna di vapore, si scava in un blocco di calce fresca un canale lungo parecchi centimetri, lavorandone l'interno come prima, e si inserisce in ciascuna estremità, a perfetta tenuta, un tubo di ferro, lutato con pasta di grafite e di creta. Così si può ottenere una colonna complessiva di fino 60 centimetri.

Il blocco di calce A, colle sue appendici, si dispone nel forno a carbone E, per mezzo del quale si porta tutto il sistema ad elevata temperatura. Tosto che la calce è vivamente arroventata, s'introduce nella cavità C il metallo di cui si vuol esaminare il vapore, e si fa agire sulla sua superficie la fiamma del cannello a gas ossidrico, curando che vi sia un eccesso di idrogeno. A questo modo, in quasi tutti i casi (ad eccezione dell'oro e del palladio), il metallo si è rapidamente volatilizzato. La parte centrale del blocco di calce, nei nostri esperimenti, sotto l'azione del cannello, si elevava al calor bianco. — Siccome le lastre di vetro si appannano, in breve tempo, a cagione dei vapori metallici, che vi si condensano, è necessario di adottare un congegno, il quale permetta di cambiarle agevolmente.

Tra le altre precauzioni, per assicurarci che non vi fossero degli ossidi, ciò che avrebbe alterato l'esattezza dei risultati, noi ci prendevamo quella di levare le lastre di vetro, al termine d'ogni esperienza, e di constatare la presenza di un eccesso di idrogeno, coll'accenderlo all'estremità aperta.

Modificando l'afflusso del gas, potevamo, ad ogni istante, tener calcolo dello spettro della fiamma ossidrica. Final-

Digitized by Google

mente aggiungiamo che, salvo poche eccezioni, i metalli si fondevano previamente in una corrente d'idrogeno, e si tenevano rinchiusi, fino al momento dell'esperienza, in tubi di vetro, saldati alla lampada.

Si presenta inoltre il caso dei liquidi. Per contenerli, si sono immaginate molte forme e molte specie di recipienti; intorno ai quali, ci limitiamo a dire, che è di somma importanza il determinare esattamente quale composizione fu adoperata per comporre il vetro, e che, praticamente, per certe soluzioni, si trovano necessarie certe paste speciali.

Molti fenomeni d'assorbimento si possono dimostrare ad un pubblico per mezzo della luce elettrica. Si procura d'avere uno spettro continuo ben netto, e, projettatolo sopra uno schermaglio, si pongono, fra la fessura e la lente, le diverse sostanze di cui si vuol indagare la natura.

È importante di esaminare i varii effetti della pressione e della densità. Il metodo seguente, per osservarli, nel caso del vapore di sodio, fu immaginato dal dott. Frankland e da me, nel 1869.

(1). In un robusto tubo, da combustione, di vetro, accuratamente lavato e chiuso ad un'estremità, si introducevano alcuni pezzettini di sodio metallico puro, e, più che si potesse, asciutto di nafta. L'estremo aperto del tubo, veniva affilato e riunito ad una pompa di Sprengel, mediante la quale si vuotava nel minor tempo possibile. Allora lo si lasciava riempire d'idrogeno, e poi lo si vuotava di nuovo; finchè, ridotta la pressione a pochi millimetri, lo si saldava con gran cura. Così preparato, veniva finalmente posto tra la fessura dello spettroscopio, ed una sorgente luminosa, che dava uno spettro continuo.

Generalmente, a meno che l'atmosfera del laboratorio non

Digitized by Google

fosse ben tranquilla e priva di polvere, le due righe brillanti D si potevano vedere distintamente, sul fondo del luminoso spettro continuo.

Si riscaldava il tubo contenente il sodio con una lampada di Bunsen, e si guardava attentamente lo spettro. Tosto dopo l'applicazione del calore, una linea oscura, sottile e delicata come un filo di ragnatela, si vedeva insinuarsi in ciascuna delle due righe brillanti del sodio ed occuparne esattamente il mezzo. Queste linee oscure si vedevano poi ingrossarsi *in cima*, parte corrispondente ai vapori più densi situati *inferiormente*, quindi invadere, d'alto in basso, ciascuna la propria riga brillante D finchè, raggiunta la base, quest' ultime diventavano completamente oscure. Se allora si seguitava a riscaldare, aumentando così la densità dei diversi strati di vapore di sodio, le due righe oscure cominciavano ad ingrossarsi, e, non ostante la notevole dispersione, finivano per fondersi in una sola. Allontanando la sorgente di calore, si presentavano gli stessi fatti in ordine inverso; la grossa riga cominciava a dividersi in due, che andavano assottigliandosi, finchè non compariva più che il sottile filo nero, il quale pure, alla sua volta, scompariva; e si ristabilivano le due righe brillanti.

(2). Si modificava poi l'esperienza, nel modo seguente. Si indroducevano alcuni pezzi di sodio in una provetta, attraverso la quale si faceva passare una corrente di idrogeno protocarbonato, mediante un lungo tubo di vetro, che si spingeva fino al fondo, munito di un' apertura di sfogo. Si riscaldava il metallo, e si sospendeva l' afflusso del gas. In breve tempo l'inversione delle righe D era completa. Allora si faceva affluire il gas di nuovo, e bastava che ne passasse una piccola quantità, perchè le righe nere si riducessero ad un filo.

Digitized by Google

Per studiare gli stessi fenomeni, nel caso dei gas permanenti, l'uso della pompa di Sprengel è indispensabile. Con questa pompa si diminuisce la pressione, in un sistema di tubi di vetro, mediante la caduta di un filo non continuo di mercurio; una parte di gas resta imprigionata fra le goccie, e, in tal modo, se ne va.

Il gas convenientemente purificato, e, se è necessario, disseccato, s'introduce nell'apparecchio, al quale è aggiunto un tubo di Geissler, munito di elettrodi; poichè bisogna ricordarsi, che nessuna sorgente di ciò che ordinariamente si conosce per calore, è capace di rendere incandescente alcuno dei gas permanenti, tranne l'idrogeno. Nei tubi vi è generalmente una porzione capillare; ed è a questa che si appunta lo spettroscopio, poichè ivi i fenomeni sono più luminosi, che altrove. Per lo più conviene d'incominciare colle operazioni a forti pressioni. È importante d'aggiungere alla pompa un barometro, che ci permetta di osservare e di misurare la pressione, sotto la quale si producono i fenomeni. Per le piccole differenze, specialmente in prossimità del vuoto, il prof. M'Leod ci ha fornito un provino così delicato, che la pressione si poteva valutare esattamente, fino al millesimo di millimetro.

Digitized by Google

CAPITOLO III.

SULLA FOTOGRAFIA DEGLI SPETTRI.

§ 1. — *Niépce, Herschel e Draper.*

Nell'anno 1839, Daguerre [1] rese la fotografia praticamente attuabile, come non era riuscito ad alcuno de' suoi predecessori. Egli fu, per qualche anno, socio di Niépce, ed immaginò il Daguerreotipo. Fox Talbot aveva scoperto l'azione del jodio sull'argento, e, per mezzo del vapore di mercurio si ottenne di fissare l'influenza della luce sul joduro d'argento. Ora, nel daguerreotipo, la luce agisce in un modo ben diverso dall'ordinario; e molti si lambiccarono il cervello, per ritrovare l'esatta cagione dei fenomeni che, con quei processi, si rivelavano. Un raggio colpiva una lastra. Sulla lastra si trovava una certa preparazione chimica.

[1] Forse per errore di stampa, il testo inglese dice: « *In the year 1839 Niépce...* » poi soggiunge: « *He had... allied himself with Daguerre* ». Poichè Daguerre, appunto nel 1839, presentò all'Accademia di Parigi i suoi processi fotografici; mentre Niépce, che certo ebbe grandissima parte alla scoperta di Daguerre, era già morto fin dal 1833. — Vedi *Biog. Univ.; Encyclop. of Cronology.*

Digitized by Google

Qual parte della luce, se pure era la luce, agiva su quella preparazione, per modo che si otteneva un'immagine più o meno permanente?

Nulla di più naturale, che di trattare questa questione, impiegando dei vetri diversamente colorati. Il fascio di luce adoperato dagli sperimentatori, si faceva passare attraverso un vetro, ora di un colore, ora di un altro. Ma, intorno al modo d'agire della luce in queste esperienze, sorse una moltitudine di opinioni discordi. Mi limiterò a rammentare la controversia, fra il signor Claudet ed il signor Becquerel, fisico francese, intorno ad un certo punto speciale, che si presentò con questo genere d'indagini.

Ma non abbiamo molto da aspettare. Sir G. Herschel, nel 1839, indicò, che per studiare queste nuove proprietà della luce, l'uso dei vetri colorati doveva essere abbandonato, per adottare invece quello degli spettri. In tre memorie, comunicate alla *Royal Society* negli anni 1839, 1840 e 1842, mostrò che l'unico metodo rigoroso d'investigare questo problema, consisteva nell'ottenere uno spettro ben netto, col quale si avesse, contemporaneamente, in diverse parti, qualcosa di simile a ciò che si ha, successivamente, quando si adopera un vetro rosso, giallo, aranciato, verde, azzurro, e così via. Potendo disporre di un tale spettro, e projettandolo sopra una lastra fotografica, è patente che, se questa azione sulle molecole del composto è prodotta da qualcosa di magico e di misterioso residente nei raggi rossi, oppure se questa magia risiede nei raggi violetti, ci sarà tosto dimostrato, nel modo più inappuntabile, dall'alterazione della parte su cui cadono i raggi rossi, oppure i raggi violetti.

Sebbene sir Giovanni Herschel sia stato il primo, in Inghilterra, a far vedere l'estrema importanza di questo punto

Digitized by Google

di vista, non fu però l'unico. Allora, come adesso, vi erano distinti americani alla testa del movimento scientifico, e, fra questi, vi era il dottor Draper, padre di un altro dottor Draper di cui dovrò parlare a momenti. Quelli che conoscono l'enorme progresso che fecero le ricerche spettroscopiche per opera di Wollaston, il quale sostituì una fessura al foro rotondo, prima in uso, ben si meraviglieranno di apprendere, che le prime osservazioni furono fatte, projettando un fascio convergente di luce solare, donde si aveva un'immagine acromatica del sole, sulla lastra, attraverso un prisma. Naturalmente, questo modo di procedere, andò solo fintanto che non ne venne uno migliore; tuttavia andò per un bel pezzo. Sir G. Herschel, dalle sue osservazioni, fatte in questa maniera, conchiuse d'aver trovato una nuova qualità di luce — un nuovo colore prismatico: il *grigio lavanda*, completamente situato al di là dell'estremo violetto; tutto da quella parte, e punto da quella del rosso. Il professore Draper, alla sua volta, venne ad una conclusione analoga: annunciò d'avere scoperto una *luce latente*.

§ 2. — *I primi veri spettri.*

Passando dal 1839 al 1842 ed al 1843, si trova un grande progresso — tanto grande per la fotografia, quanto fu quello da Newton a Wollaston per l'osservazione spettrale. Becquerel e Draper sostituirono entrambi, all'uso dell'immagine acromatica del sole, quello, assai semplice, di projettare la luce solare sopra una lastra, attraverso ad un'opportuna combinazione di prismi e di lenti. Il risultato si fu che ai 13 di giugno 1842, Becquerel compì ciò che io non esito a chiamare un'opera stupenda. Egli fece quanto, per quello

Digitized by Google

che io mi sappia, non fu più ripetuto [1]. Fotografò l'intero spettro solare, con quasi tutte le linee registrate dalla mano e dall'occhio di Fraunhofer. Nè intendo parlare soltanto dell'estremità violetta dello spettro, ma dello spettro completo, dalla *luce latente* — i raggi ultravioletti — di Draper, all'ultimo rosso (fig. 27).

Anche Draper fece qualcosa di simile, quantunque non affatto la stessa cosa, che chiamò *rappresentazione titonografica dello spettro solare*. Egli diede certe righe nell'estremo violetto visibile, righe nuove, che nessuno, tranne Becquerel, aveva prima osservato (l'opera di Draper è posteriore di quasi un anno), e nell'estremo rosso, al di là del limite visibile, ne diede dell'altre, che neppure Becquerel aveva fotografato. Questa era davvero una rivelazione da far stordire!

Sorse una viva controversia. Dalla coincidenza delle righe di Fraunhofer, ottenute colla fotografia, colle righe registrate da Fraunhofer medesimo, Becquerel traeva argomento per sostenere che questo nuovo agente chimico, che destava la meraviglia universale, qualunque si fosse, non era qualcosa di assolutamente e completamente estraneo ai raggi visibili. Draper invece, nella sua *rappresentazione titonografica*, per qualche ragione dipendente dal processo fotografico o da altro, non riescì a registrare le righe nell'aranciato, nel giallo e nel verde, sebbene determinasse le righe nell'azzurro, nell'estremo violetto e nell'estremo rosso. E, dai suoi esperimenti, si credeva giustificato a venire ad una conclusione esattamente contraria a quella di Becquerel: cioè, che la luce, di qualunque specie possa essere, che

[1] *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XXXIX-XL, 1842, p. 341.

Digitized by Google

produce queste alterazioni chimiche, donde ha origine la fotografia, era qualcosa di assolutamente e completamente estraneo alla luce ordinaria, che impressiona la retina.

Questo avvenne nel 1843. Nel 1845, ulteriori ricerche eseguite collo spettro, dimostrarono, che l'idea del dott. Draper era falsa. Ed oggidì i fisici sono tutti d'accordo nell'ammettere che le radiazioni, emananti da una sorgente luminosa qualsiasi, da quelle che corrispondono all'estremo rosso a quelle che corrispondono all'estremo violetto, non differiscono che per l'ampiezza e per la rapidità delle vibrazioni; ond'io sostengo che, per l'applicazione della fotografia alle indagini spettroscopiche, non era di poco interesse lo stabilire il fatto importante che i raggi visibili, chimici e calorifici, sono realmente parti ed elementi di una medesima cosa; la qual cosa è un sistema di ondulazioni, che variano per rapidità e per lunghezza d'onda, da un'estremità dello spettro all'altra — sia che si considerino i raggi visibili o gl'invisibili, situati al di là del violetto da una parte, e al di là del rosso dall'altra. Ma questo non è ancor tutto; l'applicazione della fotografia allo spettroscopio ha condotto ad un altro importante risultato. Sir G. Herschel, tosto che applicò il prisma, vide che, per eseguire queste ricerche, nelle migliori condizioni possibili, era necessario che gli ottici costruissero lenti, che facessero coincidere assolutamente i raggi visibili coi chimici. È ciò che ora si pratica dai nostri Rosses e Dallmeyers in tutte le camere oscure.

§ 3. — *Lo spettro ultra-violetto.*

Il successivo passo ci trasporta all'anno 1852. In questo anno, alla *Royal Society*, fu comunicata una memoria dal

Digitized by Google

Fig. 27. — Copia ridotta della fotografia dello spettro solare completo, presa da Becquerel, nel 1842.

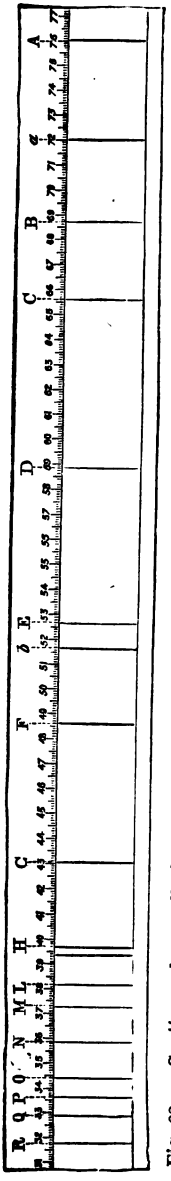


Fig. 28. — Spettro solare colle lunghezze d'onda, dove si vedono le righe (da L ad R) determinate dal signor Mascart.

Digitized by Google

prof. Stokes, che già aveva pubblicato la scoperta di ciò che poi si chiamò *fluorescenza*, dal titolo: *Sul lungo spettro della luce elettrica.* Il prof. Stokes trattava, nella sua prima memoria, del *cangiamento di refrangibilità*, o, come sir Guglielmo Thomson propose di chiamarla, della *degradazione della luce;* per mezzo della quale la luce, generalmente invisibile, può, in certe condizioni, rendersi percettibile all'occhio.

Non è mio cómpito di occuparmi distesamente di questa importante memoria; ma conviene di osservare, poichè si è parlato della *degradazione*, che la luce invisibile, capace di diventare visibile, a cui allude il prof. Stokes, dev'essere presa al di là del violetto, e non al di là del rosso. Il professore Stokes, allo scopo di ottenere questa luce in condizioni, più che fosse possibile, migliori di quelle colle quali aveva incominciate ad eseguire le sue ricerche, esaminò la trasparenza delle sostanze attraverso le quali passavano i raggi da lui adoperati; esaminò la trasparenza del vetro; e trovò che questa luce invisibile, o quella qualunque cosa, non poteva attraversare il vetro, che con grande difficoltà. Continuando le sue indagini, trovò che, invece, il quarzo la lasciava facilmente passare. Esposti questi esperimenti sul vetro e sul quarzo, egli soggiunge: « Io dubito appena che lo spettro solare » (il quale era già stato fotografato, per una certa estensione, così da Becquerel come da Draper, oltre l'estremo violetto visibile) « si prolungherà, sebbene io non sia in grado di prevedere fino a qual punto, coll'adoperare una completa serie di istrumenti ottici, in ognuno dei quali al vetro si sostituisca il quarzo ». Aggiunge poi, che altre sostanze, che gli si presentarono, non si dimostrarono atte egualmente; ed, in seguito, che, se questa luce

Digitized by Google

invisibile attraversa il quarzo e diventa percettibile all'occhio, ciò non vuol dire che essa sia suscettibile di dare una fotografia. Poichè il prof. Stokes, allo scopo di vieppiù avanzare le sue indagini sulla fluorescenza, si era già trovato quasi costretto a fotografare alcuni dei risultati così ottenuti. Sono spiacente di dover dire che, per quanto mi consta, nessuna di queste fotografie fu ancora pubblicata.

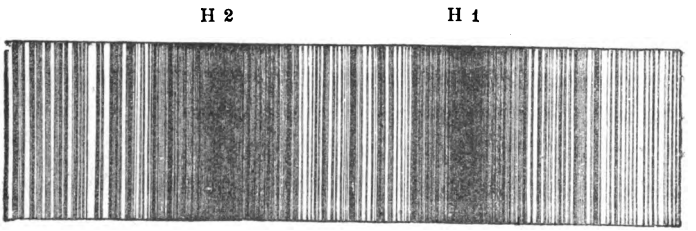


Fig. 29. — Le righe *H* nell'estremità turchina dello spettro solare, da una fotografia dell'autore.

In un'appendice alla sua memoria comunicata alla *Royal Society*, egli mostra come le sue previsioni relative alla visibilità, siano state pienamente giustificate dai fatti. Ecco le sue parole: « Ho di poi ordinato un completo apparecchio di quarzo, una gran parte del quale, compresi, fra le altre cose, due bellissimi prismi, era già stata eseguita per me dal signor Darker; così, ho veduto le righe dello spettro solare ad una distanza da H, più che doppia di quella di *p*. Per modo che la lunghezza dello spettro, posto al di là di H (l'estrema riga nella parte di spettro prima visibile) era più che doppia di quella della parte fin allora ottenuta coll'impressione fotografica. L'occhio può generalmente distinguere le due zone o striscie oscure rappresentate nel mezzo della figura 29, e contrassegnate dalle lettere H_1 e H_2. La parte meno refrangibile dello spettro giace a destra. Però,

Digitized by Google

quando il prof. Stokes asseriva che lo spettro solare appariva prolungato, intendeva che la parte di spettro visibile, sia all'occhio nudo, sia mediante una lastra fotografica, si estendeva, per un certo tratto, a destra di queste due linee oscure. La parte, che il prof. Stokes rese visibile, per mezzo del suo apparecchio di quarzo, si estendeva a sinistra, per un tratto considerevole, al di là della porzione di spettro rappresentata nella figura.

Ciò basti, per lo spettro solare. Il prof. Stokes, in una memoria comunicata alla *Royal Society* nel 1862 [1], richiama la sua antecedente memoria, e ciò che, per mezzo di quei risultati, fu in grado di fare. Poi soggiunge: « Una carta delle nuove righe » (le righe osservate da lui) « fu mostrata in una lettura serale davanti all'Associazione Britannica, alla sua adunanza, tenuta in Belfast, nell'autunno di quest'anno; ed, in quell'occasione, asserii di credere di avere ottenuto una prova, che i limiti dello spettro solare, dal lato più refrangibile, si sono raggiunti. Infatti, l'identico apparecchio, che, per mezzo della fluorescenza, rivelava la presenza di ciò che evidentemente erano raggi di alta refrangibilità, provenienti da una scintilla elettrica, applicato allo spettro solare, non mostrava nulla di simile ». E quindi viene a dire che, nell'eseguire osservazioni per mezzo della scintilla elettrica, trovò che, nel caso, in cui la scintilla scoccava tra i poli di un rocchetto d'induzione, o fra quelli di una lampada elettrica, lo spettro rivelato e reso visibile dalla fluorescenza, era non meno di sei od otto volte più lungo di tutto lo spettro ordinario. Era una rivelazione di prima importanza. Egli ne fu stupito, al punto, che temette

[1] « *On the long spectrum of electric light.* » *Phil. Trans.*, vol. CLII, pag. 599.

Digitized by Google

d'ingannarsi: « Non potei a meno di sospettare che fosse una illusione, prodotta dalla dispersione della luce ». Così grande fu la sua meraviglia e tanti metodi provò per far risaltare l'impossibilità, se mai vi era, che in seguito aggiunge: « Tentai diversi metodi, senza mai riuscire a soddisfarmi della precisione dell'esperienze, e spesso mi venne in mente di ricorrere alla fotografia ».

§ 4. — *Lavoro del dott. Miller.*

Mentre il prof. Stokes pensava di ricorrere alla fotografia, il dott. Miller, del *King's College*, non solo ci pensava, ma effettivamente vi ricorreva; e prendeva delle fotografie della così detta parte invisibile dello spettro; dove lo spettro, nel caso di alcune sostanze, apparisce cinque o sei volte più lungo di quello che si vede ordinariamente con un prisma di vetro, e, nel caso dell'argento, ben sette volte. Il professore Miller seguì quasi perfettamente le orme del professore Stokes. Esaminò la trasparenza del quarzo, e conchiuse, che tale sostanza è quasi la sola, che si possa adoperare. Fu poi il primo a dare una minuta descrizione del processo col quale si eseguiscono queste esperienze [1]. Una scintilla prodotta da un rocchetto d'induzione, scoccava fra due poli composti dei metalli di cui si trattava di studiare lo spettro, e l'immagine di questi era projettata da una lente di quarzo, attraverso ai prismi, pure di quarzo, fino sulla lastra fotografica situata in una camera oscura; si aveva così, in primo luogo, una sorgente luminosa donde si otteneva un'intensa illuminazione; poi, una serie di quarzi,

[1] Vol. cit., pag. 801.

Digitized by Google

come fu detto; poi, la lastra fotografica, e nulla più. Avendo così soppresso interamente il vetro, il prof. Miller ebbe la compiacenza di trovare, che, col far scoccare la scintilla fra elettrodi di diverse sostanze, fotografava, non solo parte di quanto si può vedere, cioè uno spettro coi colori dal verde al turchino, ma uno spettro, che si prolungava, in media, oltre il turchino, per una lunghezza sestupla dell'ordinaria; sebbene, in qualche caso, si prolungasse dalla parte

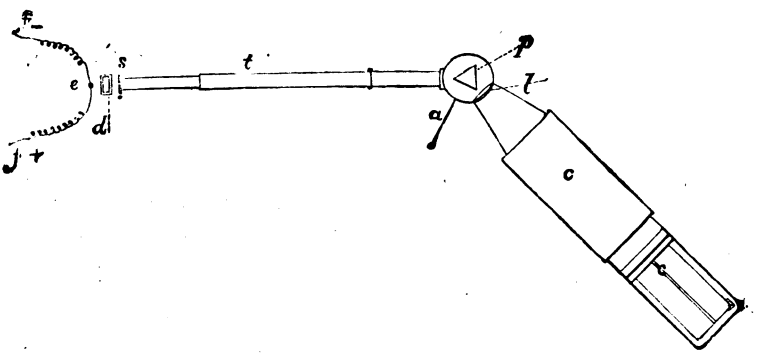


Fig. 30. — Disposizione del Dott. Miller. — *s*, fessura; *l*, lente di quarzo; *c*, camera; *p*, prisma di quarzo; *t*, collimatore; *e*, scintilla.

più refrangibile di H per un tratto non più che quadruplo della distanza di H, dall'estremo rosso, cioè dalla riga A.

In questa comunicazione del dott. Miller, si trova il germe di tutte le applicazioni della fotografia alle ricerche spettrali, che si sono fatte di poi; se non che mi spiace di dover dire, che si è fatto poco davvero. — Con questo metodo il Miller, non solo studiò la radiazione di diversi vapori, e diede, per la prima volta, la fotografia delle righe brillanti di un grandissimo numero di elementi chimici, ma si spinse più oltre, e trattò dell'assorbimento di varie sostanze.

Digitized by Google

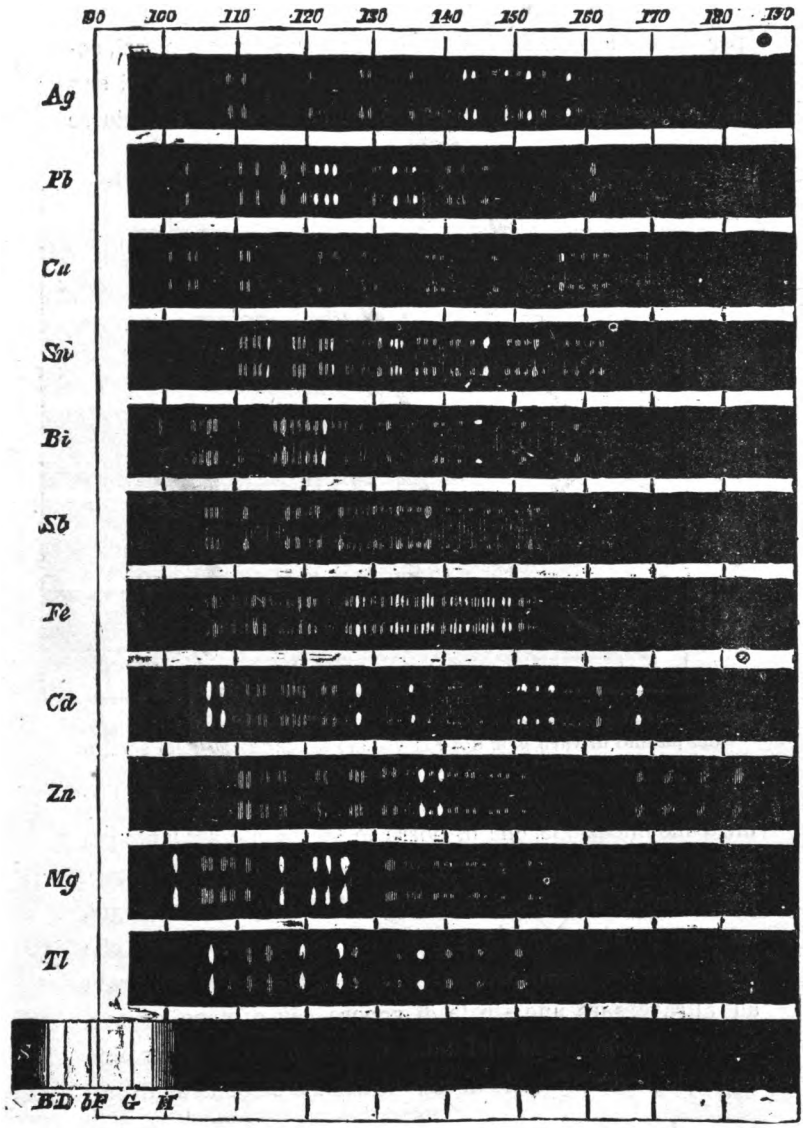


Fig. 31. — Diagramma del Dott. Miller rappresentanti gli spettri ultra-violetti di alcuni elementi nell'atmosfera.

Analisi spettrale.

Digitized by Google

Fu il primo a studiare l'assorbimento dei raggi chimici per effetto della trasmissione attraverso i diversi mezzi, solidi (naturalmente, diafani), liquidi, gas e vapori; e, al suo metodo generale di sperimentare, non aveva da introdurre

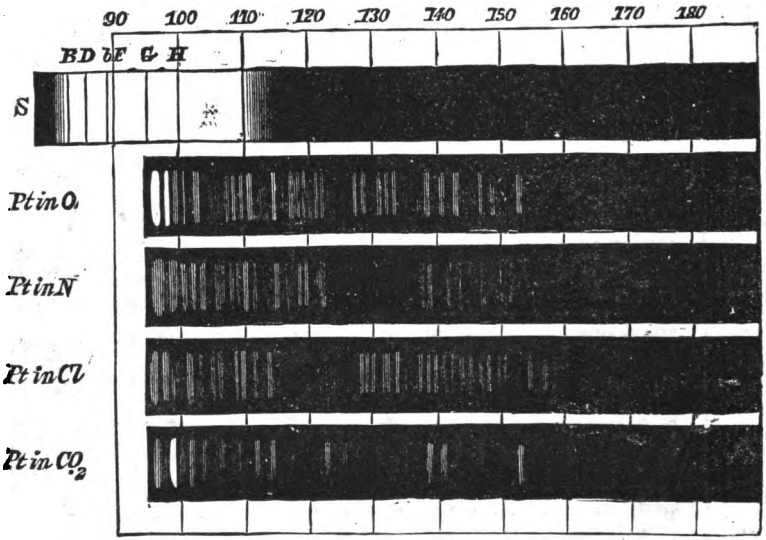


Fig. 32. — Copie delle carte del Dott. Miller dello spettro ultra-violetto del platino in varii gas, dove si vedono le lunghezze dello spettro solare e dell'ultra-violetto.

altra modificazione, che di porre lo strumento alquanto più lontano dalla sorgente luminosa, per collocare, nel caso, per esempio, dei gas e dei vapori, sul tragitto dei raggi, un tubo pieno del gas o del vapore da studiare; così che la luce, prima d'entrare nel cannocchiale, fosse obbligata ad attraversare uno strato di vapore più o meno grosso, secondo la lunghezza del tubo. A questo modo determinò non solo l'assorbimento di una medesima colonna di diversi

Digitized by Google

vapori, ma quello ancora di diverse colonne di un medesimo vapore. Così, a mio avviso, il suo lavoro è uno di quelli che hanno maggiormente contribuito alla scienza spettrale, e la sua principale importanza risiede nell'applicazione della fotografia alle osservazioni spettrali. Poche osservazioni, io credo, sono più difficili delle spettroscopiche, mentre, per quel poco d'esperienza, ch'io ne ho fatto, crederei che non ci sia niente di più facile dell'ottenere una mediocre fotografia di spettri.

§ 5. — *Carte del signor Mascart.*

Questo accadeva nel 1862. Nel 1863 abbiamo da registrare un nuovo passo egualmente importante; ma, questa volta, si tratta di un lavoro francese. Il signor Mascart, nome ben noto ai fisici, intraprese un'opera colossale, che non ha ancora finita: e cioè una completa indagine dello spettro solare ultra-violetto [1]. Invece del prisma di quarzo, usato, prima di lui, dal dott. Miller, egli adopera un *reticolo* di diffrazione: cioè uno strumento, per mezzo del quale la luce non è rifratta, come dal prisma, ma diffratta, per un effetto d'interferenza, prodotto da sottilissime linee impresse sopra un vetro. Il signor Mascart ha mostrato come, mediante riflessione sopra la prima superficie dei reticoli, si possa ottenere della luce diffratta, senza punto che essa attraversi del vetro. Però, a questo modo, si esclude completamente l'imperfetta trasparenza del vetro. Il Mascart è così riuscito ad avanzare, anno per anno, finchè ora l'ha

[1] *Annales scientifiques de l'École normale supérieure.* Vol. pel 1864, p. 219.

Digitized by Google

terminata, e quasi completamente per mezzo della fotografia, una carta dello spettro solare, che si estende fino alla linea designata colla lettera T. Qui egli trova i confini dello spettro stesso; ma, nel caso di moltissimi vapori, come, per esempio, quello del cadmio e di altri corpi analoghi, trova che si può spingere la fotografia assai oltre; ed infatti è riuscito a fotografare ad una distanza da H, eguale a cinque, sei e fin sette volte quella di H ad A.

§ 6. — *Fotografia dello spettro solare di Rutherfurd.*

Possiamo ora occuparci, per un istante, di una azione riflessa, veramente bella, della spettroscopia sulla fotografia. Rutherfurd, il cui nome, in fatto di fotografia celeste, va unito con quello di Delarue, non era soddisfatto dei telescopii a riflessione. Egli vive a Nuova York, ed io credo che Nuova York non è da meno di Londra, per imbrattare quanto può essere raggiunto dal fumo e dall'atmosfera. Il fatto sta, ch'egli venne alla conclusione, che, o doveva rinunciare completamente alla fotografia celeste, o, altrimenti, doveva procurarsi una lente — il che, pel signor Rutherfurd, significa qualcosa di più di 12 pollici di diametro — la quale gli desse, in Nuova York, con 15 pollici di vetro, un'immagine così perfetta, quale poteva darle un perfetto riflessore di eguale apertura.

Il signor Rutherfurd, che non si perde per tali difficoltà, immaginandosi che sarebbe impossibile di ottenere una siffatta lente da un ottico, poichè gli ottici, nel costruire i telescopii ordinarii, non si curano punto dei raggi chimici — i raggi di cui egli aveva propriamente bisogno — deciso di costruirne una egli stesso. Lo studio della questione non

Digitized by Google

tardò punto a suggerirgli l'idea, che, per adattare una lente di tali dimensioni ai raggi chimici, sarebbe sommamente opportuno di ricorrere allo spettroscopio. Epperò, per fare un grande telescopio, costrusse prima un grande spettroscopio, e ne risultò un perfezionamento, per rispetto agli strumenti, di cui andiamo debitori all'abilità di quelli, che primi adottarono il suggerimento di Herschel, e raccolsero i raggi chimici e i raggi visibili, tanto distinto, quanto lo era il perfezionamento, dovuto ad Herschel, per rispetto agli strumenti, che usufruivano solo dei raggi visibili.

Il sig. Rutherfurd rigetta i raggi visibili, e raccoglie soltanto i raggi chimici; ne risulta un telescopio, attraverso il quale non si può veder nulla, mentre la più piccola stella, credo, di grandezza inferiore alla decima, si può fotografare colla più perfetta minutezza. Questo, per quanto riguarda l'astronomia stellare, è uno strumento dell'avvenire.

Avendo così compiuto quanto desiderava, per la costruzione di questo istrumento, ed ottenuto lo spettroscopio, il sig. Rutherfurd intraprese un'indagine, che finora non ha pubblicato, sopra le migliori qualità di collodio, e sulle disposizioni di lenti più opportune, per la fotografia spettrale. Peccato, che non l'abbia mai pubblicata, perchè sarebbe di grandissima importanza! Egli trovò, che certe qualità di collodio hanno un'azione così specifica, che riesce quasi impossibile di usarne; mentre altre sono quasi completamente inusabili, per la ragione precisamente contraria: cioè perchè hanno un'azione troppo generale.

Il contributo reso dal sig. Rutherfurd alla fotografia spettrale, la sua fotografia dello spettro solare da F ed H, è, senza dubbio, ammirabile e perfetta, non meno della sua fo-

Digitized by Google

tografia della luna; è ottenuta per rifrazione, cioè per mezzo di prismi, e, ciò che è più notevole, per mezzo di prismi di vetro. Per questa ragione, essa non si estende, che per un breve tratto, oltre le righe H. Ma l'America non era ancora soddisfatta; e, rappresentata dal dott. Draper, figlio di quel prof. Draper, il cui nome va così onorevolmente associato coi primi lavori fatti in fotografia, trent'anni fa, ha ottenuto ultimamente una fotografia dello spettro solare, per un lungo tratto al di là di H, mediante una rete a diffrazione, di modello Rutherfurd.

§ 7. — *Uso della fessura composta.*

Abbiamo già veduto quale vantaggio arrechi in queste esperienze, l'uso di una fessura, invece di un foro rotondo, come fu indicato da Wollaston, per l'osservazione oculare: e, per la fotografia spettrale, da Becquerel e da Draper.

È chiaro, che l'estensione dello spettro dipende dalla lunghezza della fessura. Se si potessero illuminare contemporaneamente diverse parti di essa, con raggi provenienti da varii vapori, gli spettri delle varie sorgenti luminose si vedrebbero a colpo d'occhio. Ma non si può ottenere, che qualche cosa di approssimatamente analogo. Cioè, si può applicare la fotografia, ed illuminare diverse parti, *successivamente*, per modo che, sopra diversi tratti della lastra fotografica, i varii spettri vengano successivamente ad imprimersi.

Però, prendiamo una lunga fessura; e immaginiamola divisa in tante parti, quante vogliamo. Basta, che vi facciamo scorrer dietro una finestra, e che, per ogni posizione da essa occupata, in modo da trovarsi di fronte ad ognuno

Digitized by Google

Digitized by Google

Tav. III

Va. Ti.

Digitized by Google

di quelle parti, vi mandiamo della luce, proveniente da una sorgente particolare.

Questo principio è stato posto in pratica, nel modo seguente. Una lastra rettangolare di ottone, lunga 71 millimetri e larga 35, scorre, per mezzo di due guide, rimpetto alla fessura dello spettroscopio; ed una finestra alta 4 millimetri, tagliata nella lastra, lascia esposta una parte della fessura, di questa altezza medesima. Un piccolo piuolo preme fortemente contro la superficie interna, nella quale si trova una serie di piccole cavità superficiali, o intaccature, tali da impedire il movimento ascensivo o discensivo della lastra, in quei punti, in cui il piuolo viene a cadervi. Due intaccature successive distano di una quantità eguale all'altezza della finestra, aperta nella lastra scorrevole; per modo che lo spostamento, da un'intaccatura all'altra, corrisponde ad una distanza eguale al tratto esposto della fessura, e gli spettri, che si vogliono paragonare, si confrontano, per così dire, in modo assoluto. Il margine superiore dell'uno viene a coincidere col margine inferiore dell'altro; e la coincidenza, o la mancanza di coincidenza, tra le righe dell'uno e dell'altro, si possono così apprezzare, con tutta la precisione desiderabile. Vedi la tav. III.

La fig. 33 ci mostra una disposizione diversa, mediante la quale varii tratti della fessura vengono ad essere esposti, col movere lateralmente degli sportelli esterni.

Supposto d'avere una fessura di certa lunghezza, se l'apro tutta in una volta, si otterrà uno spettro, la cui estensione dipenderà dalla lunghezza della fessura; ma, se comincio col lasciar passare la luce, soltanto per un piccolo tratto, allora, tra tutti i raggi emananti dal metallo speciale, introdotto nell'arco elettrico, daranno lo spettro sol-

Digitized by Google

tanto quelli che colpiscono una certa parte della lastra, e questi lasceranno la loro impronta, sulla lamina fotografica. Chiusa allora quella parte di fessura, e apertane un'altra, attraverso la nuova apertura, mantenendo chiuso tutto il resto, potrò ottenere la fotografia di un'altra sostanza —

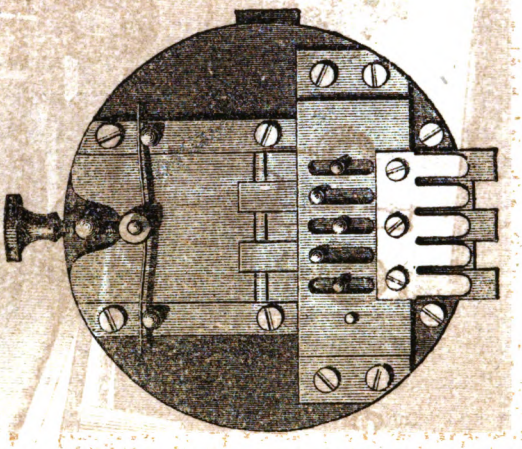


Fig. 33. — Fessura, che permette di prendere cinque fotografie sulla medesima lastra, usando successivamente diverse posizioni. Due porzioni della fessura si vedono coperte.

per esempio del ferro. Avendo così adoperata quella parte della lamina, chiudo anche quell'apertura, sposto in basso la mia finestra, e ottengo così, per esempio, lo spettro del cobalto. Poi abbasso ancora la finestra, per studiare il nichelio; per modo che, col lavoro di otto o nove minuti, al più, sono in grado di avere una fotografia, che registra, colla precisione e l'esattezza più completa ed assoluta, centinaia di righe. Ora, a volerle studiare accuratamente, per quanto ci si metta, si deve dirsi ben fortunati, se si arriva a disegnarne dieci all'ora. Epperò il potere dell'occhio, in

Digitized by Google

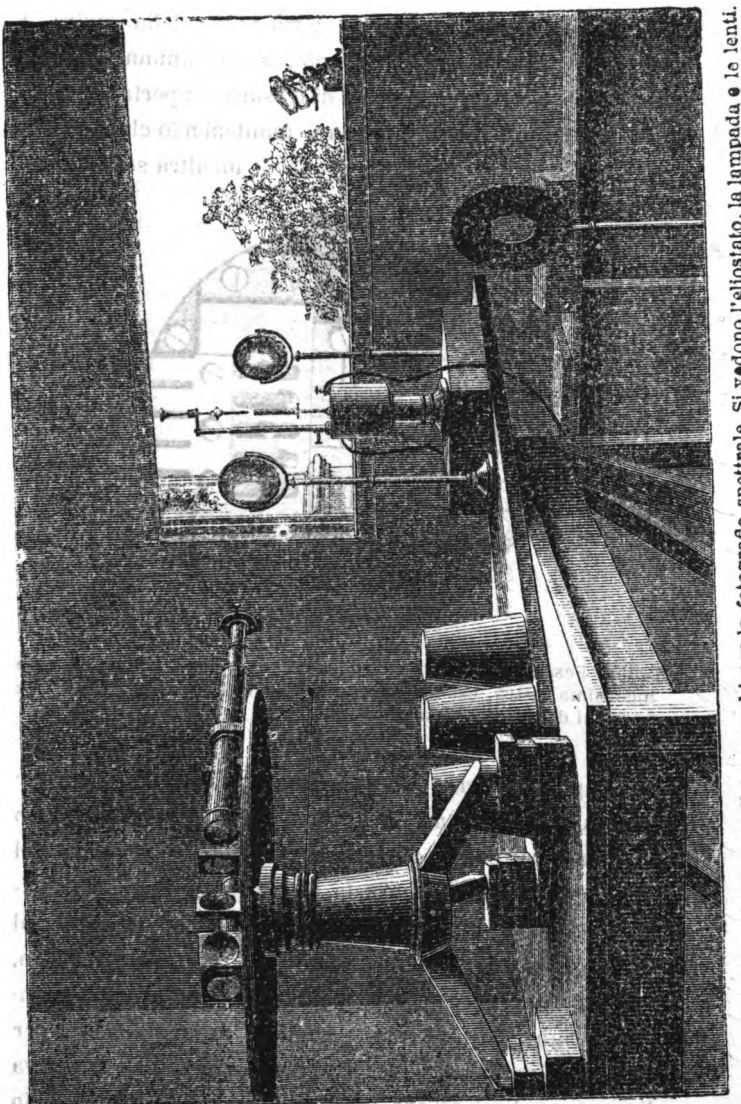


Fig. 34. — Veduta generale degli apparecchi per la fotografia spettrale. Si vedono l'eliostato, la lampada e le lenti.

Digitized by Google

questa materia, sta a quello della fotografia, nel rapporto di dieci all'ora a cento in sette minuti.

§ 8. — *Mie disposizioni.*

Lo spettroscopio contiene tre prismi di 45°, ed uno di 60°; il suo cannocchiale è costituito da una camera munita di una lente di quarzo con 2 *pollici di apertura*, e 5 piedi circa di lunghezza focale. Con questo apparecchio — ricevendo lo spettro sopra una lamina sensibilizzata per $^1/_4$ — si possono avere ad un tempo, in buone condizioni focali, le lunghezze d'onda da 3900 a 4500. Un raggio di luce solare, riflesso da un eliostato, in modo da venir a colpire la lastra, dove è praticata la fessura, è concentrato in un foco, per mezzo di una lente biconvessa, precisamente frammezzo ai due carboni di una lampada elettrica; mentre una seconda lente biconvessa, posta fra la lampada e il collimatore, serve a proiettare un'immagine del sole o dell'arco elettrico sulla fessura. Supposto, che si voglia paragonare lo spettro del ferro con quello del sole; si lascia, in primo luogo, che l'immagine del sole, concentrata in un foco, imprima il suo spettro sulla lamina preparata. Quindi si sopprime il raggio solare: si solleva, od abbassa, la lastra scorrevole, finchè il piuolo incontra la successiva intaccatura: e si fa cadere sulla parte di fessura, così esposta, l'immagine dell'arco, che si stende fra un polo superiore di carbone, e un polo inferiore fatto di un crogiuolo di carbone contenente un frammento di ferro.

I seguenti dettagli spiegheranno completamente come il metodo venga applicato. Il laboratorio, nel quale si sono eseguiti questi esperimenti, ha due finestre: l'una volta verso

Digitized by Google

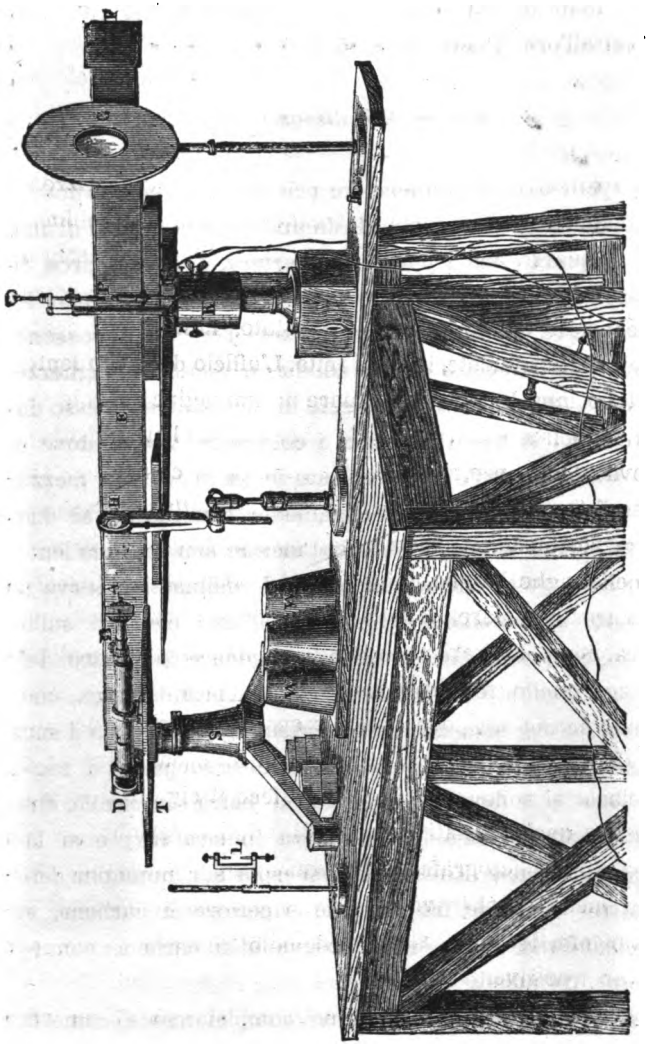


Fig. 35. — Altra veduta degli apparecchi per la fotografia spettrale, dove si vede la camera.

sud (magnetico), l'altra verso l'est (magnetico). Fuori

Digitized by Google

di entrambe è posta una mensola d'ardesia ben livellata, per sostenere l'eliostato, e si può servirsi a piacimento dell'una o dell'altra. Lo spettroscopio è sorretto da una piattaforma girevole, di tale altezza, che il raggio orizzontale mandato dall'eliostato, coincida coll'asse del collimatore. Oltre la lente collocata tra la lampada e la fessura, per proiettarvi l'immagine dell'arco, un'altra se ne trova tra l'eliostato e la lampada — eliostato, lampada e lenti, essendo, naturalmente, in linea retta. L'ufficio di questa lente, da ultimo introdotta, è di formare un'immagine del sole tra i poli della lampada: per modo che, quando l'arco elettrico si trova a foco, per rispetto alla lente della camera, e alla lamina fotografica, vi si trova anche lo spettro solare.

A questo modo, otteniamo, non solo un'impronta fotografica delle righe lunghe e brevi, colle loro caratteristiche, ma lo spettro solare, cosi da potercene servire di scala.

Gli annessi diagrammi mostrano le disposizioni adattate nei casi summenzionati (fig. 36-38).

Per avere delle fotografie dello spettro solare, veramente inappuntabili, bisogna che il raggio rifratto dal prisma sia di piccolissime dimensioni; ciò che fece il sig. Rutherfurd, ottenendo quei risultati mirabili, di cui si è parlato.

Cercando di fotografare le righe, lunghe e brevi, degli spettri metallici, si trovò che lo scopo non si poteva ben raggiungere, tenendo la lampada nella sua posizione ordinaria (coi poli verticali): poichè la colonna centrale di vapore denso, di regola, si estendeva attraverso l'arco, per esempio da polo a polo, e dava tutte righe brevi.

Per ovviare a questo inconveniente, si usò di un arco orizzontale; ciò che si ottiene, inclinando la lampada sopra un fianco, e assicurandola in quella posizione. L'immagine

Digitized by Google

Fig. 33. — Disposizione per ottenere il solo spettro solare.

Fig. 37. — Disposizione per ottenere righe lunghe e brevi.

Fig. 38. — Disposizione per ottenere le righe e paragonarle collo spettro solare. — A, lente collimatrice; B, fessura; C, lente; G, eliostato; D, lente; E, poli; F, lente proiettante l'immagine del sole tra i poli.

dell'arco è allora proiettata sopra la fessura verticale, come fu detto nel cap. II. Questo metodo ottenne un completo

Digitized by Google

successo. La parte centrale dello spettro, dovuta al nucleo più denso dell'arco, si trovò consistere di tutte le linee, che può dare soltanto questa parte dello spettro; mentre le righe più lunghe, date dagli strati più esterni e meno densi, si estendevano al di là dello spettro del nucleo, fino alle varie distanze dal centro, a cui si spingeva il vapore, capace di darle.

Le righe così fotografate, finiscono in punta, e scompariscono ai lati della linea centrale, in ordine di grandezza: così che si ottiene una doppia determinazione, o due determinazioni, di lunghezze, perfettamente simmetriche.

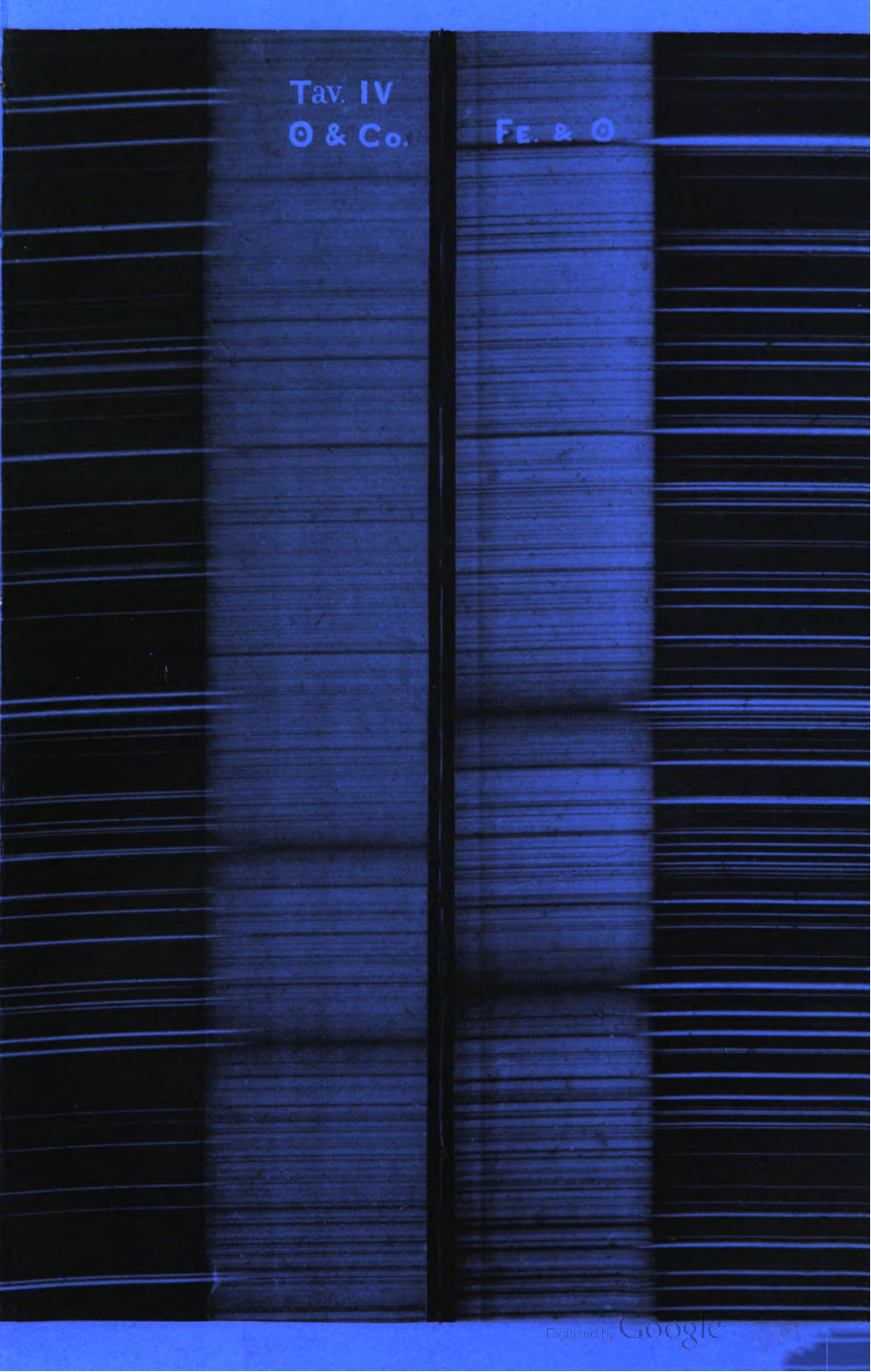
Vediamo così come la lunghezza, lo spessore e l'intensità delle righe, si possano facilmente imprimere: ma finora, non abbiamo ancora una scala, per fissarne la posizione. Per rispondere a questo bisogno, si fotografa lo spettro solare sopra ciascuna lamina, immediatamente sopra o sotto lo spettro, preso in esame.

Questo nuovo metodo mi ha permesso di registrare non meno di quattro spettri diversi, sopra una stessa lamina umida. Quelli, che sanno cosa sono i processi fotografici, capiranno subito perchè soltanto quattro, e non quaranta.

§ 9. — *Risultati.*

Così, per mezzo della fotografia, si rende possibile un paragone assoluto delle righe spettrali di un metallo, con quelle del sole. La tavola IV ci dà un'idea di queste fotografie. Nel caso delle righe più grosse, abbiamo quasi sempre nello spettro solare una riga, che corrisponde a quella del metallo. In alcuni casi le righe del metallo sono di diversa lunghezza. La ragione sta in ciò, che si è preso

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

cura di fotografare sulla lamina le linee dovute ai varii strati di vapore: dal più raro, che si trova esternamente all'arco elettrico, al più denso, che occupa il centro del nucleo. Così, passando dall'esterno all'interno dello spettro, si osserva una bellissima gradazione. L'interno rappresenta lo spettro completo del nucleo; e l'esterno l'incompleto, e quasi monocromatico del vapore, che circonda il nucleo più denso, posto nel mezzo della scintilla. Così riduciamo, praticamente, lo spettro dei metalli, ad una linea sola.

§ 10. — *Spettro solare.*

Veniamo a considerare l'applicazione della fotografia spettrale, non più allo spettro solare soltanto, ma alla fisica del sole. Che cos'è lo spettro solare? È lo spettro continuo del sole, meno certe parti, dove la sua luce è stata assorbita. E che cosa l'ha assorbita? I gas e i vapori, generalmente parlando, che occupano una limitatissima zona dell'atmosfera solare, la quale avviluppa, assai da vicino, il sole luminoso, che vediamo — cioè la fotosfera. Questa zona si chiama lo *strato d'inversione* (reversing layer). Ed allora, se lo spettro solare è il risultato dell'assorbimento di questo strato, che cosa ne succederà, se si altererà la condizione di questo strato? — Evidentemente, dovrà alterarsi. — Ora, le ricerche, descritte nel cap. VIII, ricerche eseguite colla fotografia, ci insegnano che, se prendiamo in quello strato d'inversione, un vapore, che designiamo con A, e supponiamo che la quantità di A, nello strato, diminuisca, diminuirà l'assorbimento dovuto ad esso; epperò che cosa succederà nella fotografia? — Sparirà qualche riga. — Supponiamo, che la quantità di

Digitized by Google

questo vapore, designato con A, aumenti, invece di diminuire; che cosa ne risulterà? — Le stesse ricerche c'insegnano che, aumentando la sua quantità, aumenterà il suo assorbimento; ciò che si manifesterà con un maggior numero, e una maggiore grossezza di linee assorbite. — Che cosa dunque accadrà nello spettro solare, se avverrà un cambiamento di questo genere? — La fotografia presa, per esempio, quest'oggi, differirà dalla fotografia della stessa parte, presa qualche tempo fa. Certo non si sa quanto tempo ci voglia, — se tre mesi, sei mesi, sei anni, undici anni, o tante volte undici anni; ma, ad ogni modo, vi sono già ragioni, per supporre, che se si avesse una serie di fotografie dello spettro solare, prese anno per anno, si osserverebbero parecchie alterazioni. La fotografia di una piccolissima porzione di spettro, sostiene la mia opinione: ed io non potrei aver ottenuto questa conferma, se non avessi invocato la fotografia; poichè, se l'esistenza di un metallo, o le variazioni della sua quantità, dipendono da così poco, qual'è una riga fra 10000, che carico si potrà fare ad un osservatore, se gli sfuggiranno di simili alterazioni? — Ognuno dirà: « Oh! in indagini di questo genere, si ha diritto a tutte le scuse, se si fa qualche svista! » Ma se si dispone di una serie di fenomeni impressi, per mezzo di una camera oscura sopra « una retina, che non si dimentica » come ha trovato di dire, con bellissima frase, il signor Delarue, e si confrontano questi dipinti di giorno in giorno, o di anno in anno, non vi possono essere più dubbii, se si osserva la scomparsa di una riga, o la comparsa di un'altra.

Ho dato un disegno del tratto di spettro solare, prossimo alla riga H. Voglio richiamare l'attenzione sopra una certa

Digitized by Google

riga, appartenente a questo tratto. Abbiamo una bellissima carta dello spettro solare, fatta verso l'anno 1860. Il disegnatore, nel tracciare le righe dello spettro, osservato ad occhio, non trascurerà facilmente una linea più scura dell'altre, che registra, ma gli potranno sfuggire facilmente delle linee più sottili. Ora, è un fatto, che nella carta più esatta, che abbiamo — disegnata col più mirabile scrupolo, e con meravigliosa abilità — manca una linea del tratto suaccennato; la quale, oggidì, è più intensa di alcune altre, che si trovano registrate: e dimostra che nel sole si trova un altro elemento — lo stronzio.

Non dico questo coll'idea, che nuovi fatti vengano a mostrare che il disegno è inesatto, ma perchè ho ragioni, per credere, che da tutto ciò che sappiamo intorno al sole, possiamo conchiudere, come una cosa delle più probabili, che, in quell'anno, in cui fu eseguito il disegno, lo stronzio non si trovava in tanta quantità, nello strato assorbente. Ma, comunque sia, ognuno riconoscerà di quanta importanza sia il confrontare le fotografie, prese oggidì, con quelle che furono eseguite cinque, dieci, quindici, cento, duecento anni fa, o ancora di più. E nella possibile continuità di queste osservazioni dello spettro solare, seguitate per secoli, abbiamo, io credo, non solo un potente alleato dello spettroscopio, ma un elemento della spettroscopia. La qual scienza, in tutto ciò che riguarda i corpi celesti, mi pare già arrivata a tal punto, che riesce presso che inutile, se non si prendono impressioni fotografiche.

Digitized by Google

§ 11. — *Fotografia stellare.*

Il dott. Draper e il dott. Huggins sono riusciti ad ottenere la fotografia degli spettri di alcune stelle. Fatto della più grande importanza; poichè il sole non è altro che una stella, e le stelle non sono, che soli più lontani; per modo che, finchè ci limitiamo a studiare il nostro sole, per quanto diligentemente e mirabilmente, e trascuriamo tutti gli altri, facciamo come chi avesse da occuparsi di tutto il regno della letteratura, e si limitasse ad un sol libro — che, potrebbe darsi, fosse quello che rappresenta meno bene la letteratura del paese, da lui presa in considerazione.

Per lo spettroscopio non vi è che una sola natura; e non si può fare, assolutamente, neppure una sola osservazione sopra il sole, una stella, od una cometa, senza tirare in scena questioni di chimica e di fisica. E sarà da riprovarsi, che i chimici applichino lo spettroscopio alla chimica terrestre — sebbene finora non abbiano fatto molto — senza occuparsi del sole e di tutti gli astri del cielo; poichè lo spettroscopio non fa assolutamente questione di spazio, ma c'insegna, che gli elementi più comuni quaggiù, o, ad ogni modo, una grande parte di essi, si trovano negli astri più lontani; e ce li mostra per di più, in condizioni, che qui sono affatto inattuabili.

§ 12. — *L'opera del futuro.*

Io credo, che quasi una nuova chimica, ci dev'essere rilevata, un giorno, da fotografie delle azioni, e delle condizioni delle molecole. Rammentiamo, che la differenza fra

Digitized by Google

lo spettro del ferro ad una riga, e lo spettro del metallo stesso di 400 a 500 righe, si deve solamente attribuire ad una differenza delle vibrazioni delle molecole, o degli atomi, del ferro, nel nucleo dell'arco elettrico, e fuori di esso. Vi è una questione, che quanti si occupano di spettroscopio possono fare ai fotografi: ed è questa. Perchè, nel rappresentare gli spettri, dovremo perpetuamente limitarci alla parte più rifrangibile, mentre uno dei primissimi spettri del sole, era una completa fotografia, che comprendeva, non solo l'azzurro ed il verde, ma il giallo od il rosso, fino all'estremo? M'immagino, che se i fotografi si applicheranno a studiare l'azione della luce sulle molecole, e quelli che hanno famigliare lo spettroscopio, e quelli che sono ansiosi di far progredire le indagini spettroscopiche, troveranno il modo di estendere le impressioni fotografiche, non solo nella regione del verde, ciò che è già difficile, ma fino all'estremo rosso: allora, l'uso dell'occhio, in queste esperienze sarà completamente abolito. E, sebbene nessuno apprezzi più di me la somma importanza dell'occhio, trovo che quanto più, in queste ricerche, viene sostituito da impressioni naturali permanenti, tanto maggiore vantaggio ne ha il progresso della scienza.

Come ho già accennato, io ritengo lo spettroscopio capace di darci tutta la serie delle scoperte possibili, in questo ordine di cose. Esso ha cominciato, io credo, ad abolire completamente la distinzione, che si trova in tutti i nostri trattati, fra i raggi visibili e i raggi chimici. Le curve, date da questi libri, per rappresentare i massimi di calore, di luce e di azione chimica, pare a me, che rappresentino soltanto, gli spettri d'assorbimento delle sostanze adoperate per determinare quei massimi — il nero fumo, la retina, o il

Digitized by Google

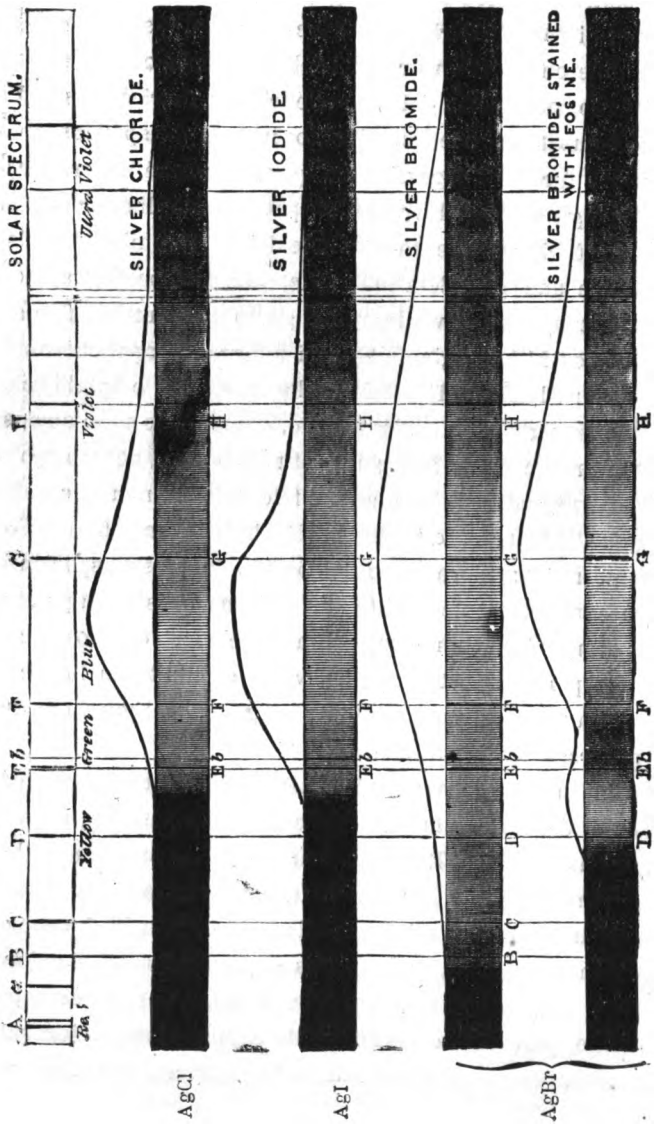


Fig. 39. — Diagramma, che mostra l'effetto fotografico sui sali d'argento.

Digitized by Google

sale d'argento — ma che non hanno nulla a che fare colla natura della luce. I sali d'argento, ordinariamente impiegati, richiedono onde brevi, per entrare prima in vibrazione, e poi come risultato di queste vibrazioni, per disassociarsi. Perchè altri sali non potrebbero disgregarsi, sotto l'azione delle onde rosse? Ciò che rende una molecola atta a vibrare con una lunghezza d'onda, piuttosto che con un'altra, resta ancora da scoprirsi; *quando si tratta di una stessa sostanza*, vi sono già delle prove, che quelle che assorbiscono il rosso, sono meno semplici di quelle, che assorbiscono l'azzurro; ma, quando si passa da una sostanza all' altra, le prove non sono più così certe, e per decidere questo punto, si richiedono lunghe esperienze.

Fra i molti che hanno lavorato, da questo punto di vista, il capitano Abney è quello che si è applicato più indefessamente, e che ha ottenuto il maggior successo. Egli ha già ottenuto la fotografia dell'estremità rossa dello spettro solare, colle linee di Fraunhofer, mirabilmente distinte. Ha fotografato anche l'estremo rosso dello spettro del calcio; ma, per quanto io mi sappia, i suoi metodi non sono stati ancora completamente pubblicati. Tuttavia, ha esposto un interessantissimo diagramma, dell'energia fotografica dei sali d'argento, che io ho il permesso di riprodurre [1].

[1] Letture scientifiche a South Kensington. Fotografia. Per il Cap. Abney R. E., F. R. S.

Digitized by Google

CAPITOLO IV.

ATOMI E MOLECOLE CONSIDERATI COLLO SPETTROSCOPIO.

Che cosa sono gli atomi? Che cosa sono le molecole? — Il chimico discorre di pesi atomici, definisce e adopera i volumi molecolari, e introduce molti di simili concetti. Presentiamo la definizione data dal dott. Frankland, nel suo trattato di chimica (*Lecture Notes*, p. 2): « Atomo è la più piccola porzione in peso, sotto la quale l'elemento (cioè l'elemento a cui l'atomo appartiene) entra a far parte di una combinazione chimica, o ne è espulso. » Secondo questa definizione, gli atomi, quando sono isolati — cioè, quando sono separati da altre materie — non esistono più necessariamente come atomi, nel primo senso; essi vanno sempre come in compagnia; generalmente a due a due. Una combinazione siffatta, egli poi la definisce come una molecola elementare. — Questa dunque è la differenza, che, secondo il modo di vedere di un chimico autorevole, passa fra atomo e molecola.

Passiamo ai fisici: e vediamo di capire, che idea hanno essi delle molecole e degli atomi. È notevole, che nella *Theory of Heat* (Teoria del calore) del prof. Clerk-Maxwell,

Digitized by Google

dove si trova tanta parte di ciò, che i fisici sanno intorno alle teorie molecolari, il vocabolo *atomo* non è adoperato affatto. Ci troviamo immediatamente davanti al concetto di molecola; la quale è definita come « una piccola massa di materia, le cui parti non si dividono, durante le escursioni, che la molecola compie, quando il corpo, a cui appartiene, è caldo. »

Il prof. Maxwell procede a darci alcune idee intorno a queste *molecole*, le quali sono il risultato di studii fatti da lui e da altri. Eccone alcune (pag. 286): « Tutti i corpi consistono di particelle, chiamate molecole. Ognuna di esse consiste di una definita quantità di materia, che è esattamente la stessa per tutte quelle che appartengono ad una medesima sostanza. Il modo, in cui la molecola è costrutta è lo stesso per tutte quelle, che appartengono ad una medesima sostanza. Una molecola può consistere di parecchie particelle distinte, tenute insieme da vincoli chimici, e può esser posta in vibrazione, in rotazione, o in qualunque altra specie di moto relativo; finchè le varie particelle non si separano, ma camminano insieme, nelle escursioni, eseguite dalla molecola, la nostra teoria chiama il sistema complessivo un'unica molecola. » Qui dunque la nostra definizione viene ampliata.

Il fatto, su cui in seguito insiste, è, che le molecole di tutti i corpi sono in uno stato di continua agitazione.

Che questo movimento, o agitazione, risieda nelle minime particelle dei corpi, è provato in parte, dal fatto che i corpi stessi non si vedono muoversi.

E che cosa significa, secondo questa teoria, la differenza fra gli stati solido, liquido e gassoso?

Nei solidi, le molecole non si spingono mai oltre ad una

Digitized by Google

certa distanza, dalla loro posizione iniziale. L'orbita da esse descritta è generalmente compresa in un ristrettissimo spazio. Il prof. Clifford, in una sua lettura sugli atomi, ha dato una spiegazione assai chiara di questa condizione. Egli immagina un corpo, tenuto nel mezzo di una camera, da cordoni elastici, assicurati al soffitto, al pavimento, e alle diverse pareti. Spostiamo quel corpo: ed esso si metterà a vibrare, sempre intorno ad una posizione media. Non abbandonerà mai del tutto il suo posto: ma sempre tornerà indietro.

Veniamo ai fluidi: intorno ai quali leggiamo: « Nei fluidi, invece, le escursioni delle molecole non sono così ristrette. È vero, bensì, che, in generale, esse non possono muoversi, che per un brevissimo tratto, senza che la loro traiettoria sia perturbata dall'incontro di altre; ma, avvenuto l'incontro, non ci è nulla, che obblighi la molecola a ritornare verso il luogo, donde è venuta, piuttosto che a spingersi in nuove regioni. Però, nei fluidi, la traiettoria delle molecole non è così limitata, come nei solidi: ma può penetrare in qualunque parte dello spazio, occupato dal fluido ».

Così, abbiamo il movimento nei solidi e nei liquidi; e che cosa si sa del movimento nei gas? — « Un gas, s'immagina costituito da una moltitudine di molecole, che si muovono con grande rapidità. » Per esempio, quelle dell'aria hanno una velocità di trenta chilometri al minuto. « Durante la maggior parte della loro corsa, esse non risentono l'azione di alcuna forza: epperò si muovono di moto uniforme e rettilineo. Quando due vengono ad una certa distanza, l'una dall'altra, succede fra esse una mutua azione, che si può paragonare all'urto di due palle da bigliardo. I movimenti si alterano, e ciascuna cambia di strada. »

Digitized by Google

La collisione di due molecole si chiama *incontro;* la corsa fra due incontri, *corsa libera.* Si vede allora che « nei gas ordinarii, il tempo relativo alle corse libere, è assai maggiore di quello relativo agli incontri. Aumentando la densità del gas, le corse libere diminuiscono; e, nei liquidi, nessuna parte del cammino di una molecola può essere considerato come una corsa libera.

La teoria dinamica dei gas, che riposa sopra queste ipotesi, presenta il grande vantaggio, di spiegare certi fatti, a cui si era arrivati per mezzo dell'esperienza, e che sempre più si confermarono, ma non trovarono una spiegazione, finchè non sorse questa teoria molecolare, che ammette l'esistenza di piccolissime masse, in movimento rapidissimo nei gas, meno rapido nei liquidi, e meno rapido ancora nei solidi. Essa infatti, rende ragione, nel modo più generale di molti fenomeni, così ben stabiliti, che si chiamarono leggi; così, della legge di Boyle, e d'altre.

Questa teoria, fondata sull'esistenza delle molecole e dei loro movimenti, spiega la pressione, col paragonarla ad un bombardamento delle molecole in moto, contro le pareti del recipiente; c'insegna, che la temperatura di un gas dipende dalla velocità, con cui le molecole si agitano: e che questa, in un medesimo gas, per una stessa temperatura, è sempre la stessa, qualunque sia la pressione. Quando la densità varia, la pressione varia in proporzione. Questa è la legge di Boyle. Inoltre, la densità di due gas, alla stessa temperatura e pressione, sono proporzionali alle masse delle loro singole molecole: ossia, quando due gas sono alla stessa temperatura e pressione, il numero delle molecole, in una unità di volume, è lo stesso. Questa è la legge di Gay Lussac.

Digitized by Google

Così abbiamo fatto conoscenza coll'*atomo* dei chimici e colla *molecola* dei fisici. Vediamo subito che i chimici e i fisici hanno metodi d'indagare completamente diversi. I chimici non si preoccupano degli incontri; i fisici trascurano il peso atomico; non vedono che un perpetuo urtarsi e rimescolarsi di particelle, e trattano piuttosto delle varie qualità dei varii movimenti, che del materiale.

Nel libro del prof. Maxwell (pag. 306), si trova l'ipotesi che, una molecola, mentre percorre la sua corsa libera, in seguito ad un incontro, vibra, secondo la legge che le è propria, e che è determinata dalla sua interna struttura, cioè dalla sua natura chimica; per modo che le vibrazioni di una molecola di sodio saranno eguali a quelle di un'altra molecola di sodio, ma diverse da quelle della molecola di un'altra sostanza, per esempio, del ferro. Se fra due incontri vi è un lungo intervallo, può darsi che la molecola consumi le sue vibrazioni, innanzi che succeda il secondo incontro, e che, per qualche tempo prima, non vibri affatto. L'estensione della vibrazione dipenderà dalla qualità degli incontri, e sarà, in certo modo, indipendente dal numero di essi.

Noi possiamo immaginare un piccolo numero di incontri deboli, un gran numero d'incontri deboli, un piccolo ed un gran numero d'incontri violenti.

Nel caso degli incontri deboli, si passa dal piccolo al gran numero, coll'aumentare la densità.

Nel caso degli incontri violenti, si passa da una bassa temperatura, congiunta con una piccola densità, ad una temperatura elevata, con gran densità.

L'aumento della densità diminuisce la corsa libera.

L'aumento della temperatura accresce l'intensità delle vibrazioni.

Digitized by Google

Più breve è la corsa libera, e più complesse sono le vibrazioni.

Più perfetto è l'incontro, e maggiore è la vibrazione eccitata nella molecola; e non dobbiamo intendere soltanto le *vibrazioni fondamentali*, che si ottengono, quando la corsa libera è la più lunga possibile, ma tutte quelle di cui la molecola è capace.

Ora, perchè ci è stato necessario di conoscere minutamente tutti questi fatti relativi alle vibrazioni delle molecole? Perchè crediamo che ogni vibrazione molecolare agita l'etere, onde si generano degli spettri; ogni lunghezza d'onda luminosa risultando da un tremito molecolare di eguale lunghezza d'onda. Infatti, in questa nuova telegrafia, la molecola è l'apparecchio che manda, l'etere il filo, e l'occhio l'apparecchio che riceve.

Come già prima, vediamo, se possiamo schiarire le nostre idee, per mezzo di uno dei più famigliari fenomeni di suono.

Chiamiamo vibrazioni tutti i movimenti, di qualunque specie siano, di cui è suscettibile una molecola. Allora, per avere la più comune immagine di una tal sorgente luminosa, paragoniamola alla più semplice sorgente di suono, ad un corista.

Lo stesso corista renderà sempre lo stesso suono; ma il suono è più complicato, di quello che si possa immaginare, a tutta prima. In aggiunta alla nota dominante, la quale, come abbiamo veduto, dipende dal numero delle vibrazioni compite in un secondo, vi sono degli altri toni, che hanno una relazione ben determinata colla nota dominante stessa, o, come si suol dire, colla nota fondamentale. L'intensità di tutte, come pure abbiamo veduto, dipende dall'ampiezza delle oscillazioni del corista.

Digitized by Google

Ma vi sono casi più complicati di questo.

Nel violino, abbiamo un esempio opportuno, il quale ci mostra, che la qualità del suono prodotto, cioè la qualità della vibrazione impressa alla corda, dipende dal modo con cui si sfrega l'archetto.

Similmente le lamine sonore, toccate in diversi punti, vibrano in modo affatto diverso.

Ora, lo spettroscopio vale a gettar qualche luce sulle questioni molecolari? È lecito sperare che, estendendo le indagini, che si eseguiscono per mezzo di esso, potrà ajutare lo studio di un soggetto, che è fondamento della chimica e della fisica?

Per cercare di rispondere a questa domanda, passo a stabilire alcune proposizioni, che abbracciano tutte le cognizioni, che si sono acquistate, fino adesso, da questo punto di vista. Considererò, ad una ad una, queste proposizioni; mostrerò le basi sperimentali, su cui si fondano, e accennerò ai metodi, per mezzo dei quali si sono ottenuti quei risultati.

Per designare una piccola massa di materia, userò, per qualche tempo, il vocabolo *particella;* poichè esso non mi vincola nè all'*atomo* dei chimici, nè alla *molecola* dei fisici. *l'articella* è un termine neutro, intorno al quale, voglio sperare, nessuno troverà da dire.

§ 1. — *Radiazione.*

1. ***Quando i corpi, in stato d'incandescenza, mantengono lo stato solido o liquido, le loro molecole costituenti emettono raggi di luce tali, che lo spettro è continuo per tutta la sua lunghezza.***

Digitized by Google

Questa era la prima legge generale di Kirchhoff.

È certo un fatto importante, dal punto di vista della teoria molecolare, che tutti i solidi e i liquidi, le cui particelle si muovono nel modo che abbiamo descritto, danno uno spettro di genere affatto diverso da quello che si ottiene dai gas rarefatti e dai vapori. Una paletta posta nella bragia, sale prima al calor rosso scuro, e, dopo qualche tempo, arriva al calor bianco. Per tutto il tempo che le vibrazioni durano, esse sono continue; cioè non vi sono interruzioni nella serie delle lunghezze d'onda. Nello stesso modo, per mezzo dell'elettricità, possiamo rendere incandescente un filo di platino. Analizziamo la luce collo spettroscopio, e troveremo che il suo spettro è lo stesso di quello della paletta. Inoltre, possiamo ricorrere al sole, e immaginare di spogliarlo dell'atmosfera che assorbe parte della sua luce; sappiamo allora che, salvo piccole eccezioni, se ne potrebbe ottenere uno spettro continuo, simile a quello della paletta e del filo di platino.

Lo spettro continuo è un fenomeno spettroscopico collegato con quella qualità di movimento molecolare, che i fisici attribuiscono alle particelle, finchè sono strettamente raggruppate insieme, nello stato solido, o non hanno che brevi corse libere, come nello stato liquido.

2. *Quando le particelle sono allo stato di gas o di vapore, e sono rese incandescenti per mezzo dell'elettricità a forte tensione, si producono spettri lineari, nel caso di tutti gli elementi chimici.*

Questi spettri a righe non si ottengono che dai gas e dai vapori, e, meno alcune poche eccezioni, soltanto quando si adopera l'elettricità a forte tensione.

Digitized by Google

Abbiamo un risultato spettroscopico perfettamente distinto da quello che si aveva prima; proprio nel caso in cui, secondo i fisici, si ha un enorme movimento, ed agitazione delle molecole.

3. *La vibrazione caratteristica di una particella è indipendente dalla lunghezza della sua corsa libera.*

Si ammette generalmente, che la teoria dinamica non offre argomenti, per conchiudere che la stessa molecola non possa figurare nello stato solido, liquido e gassoso, bastando la varia lunghezza della corsa libera a render ragione del cambiamento di condizione.

Ora, siccome gli spettri dei solidi e dei gas sono essenzialmente differenti (v. 1 e 2), ammesso che la particella sia sempre la stessa, bisognerebbe supporre che, con diverse condizioni di corsa libera, una medesima particella possa entrare in diverse condizioni di vibrazione, e darci spettri diversi.

Sta a vedere se, al presente, abbiamo a nostra disposizione dei fatti concludenti. Io credo che ne abbiamo, sebbene alcuni possono considerarli come non abbastanza numerosi e decisivi; ma bisogna ricordarsi, che, in questioni come queste, riesce quasi impossibile di fare esperienze sopra una scala molto estesa.

Però, tutti i fatti, che conosciamo, tendono a provare, che, un cambiamento di condizioni molecolari, va sempre accompagnato con un'alterazione di spettro. Per esempio, il solfo, nell'attraversare la temperatura di 1000 C., al qual punto cambia la densità del suo vapore, cambia di spettro.

I sali presentano degli spettri loro particolari, dove non figurano righe, nè del metallo, nè del metalloide.

Digitized by Google

Altro ordine di argomenti. In alcuni casi si possono mescolare dei vapori con dei liquidi, e lo spettro del vapore mantiene inalterati i suoi caratteri; cioè le particelle di liquido, che circondano quelle del vapore, si comportano come quelle dell'aria, nel caso in cui il vapore è mescolato con essa.

Ne offrono esempii il jodio, nel bisolfuro di carbonio, il biossido d'azoto, e i sali di didimio nell'acqua.

Anzi, si possono imprigionare, almeno apparentemente, alcune sostanze nel vetro (sali di didimio, erbio, nichelio, cobalto), e lo spettro è ancora caratteristico, in ogni caso, così da convincerci, che le particelle continuano i loro movimenti, e seguitano a vibrare, non ostante la mancanza di corse libere, e lo stato *solido* di quelle, che le circondano.

Userò altrove di altri ordini di argomenti, per mostrare che la ragione, per cui così di rado vediamo gli spettri caratteristici in unione collo stato solido, sta in ciò, che questo stato proviene, non solo da una diminuzione di corsa libera, che permette alle molecole di stringersi insieme più davvicino, ma, di più, da una diminuzione dei moti molecolari che, con tutta probabilità, le mette in grado di combinarsi *fra loro.*

4. *In certi casi, particelle allo stato di gas e di vapore, possono essere messe in vibrazione da onde di calore.*

Alcuni sali di sodio e di stronzio, sottoposti al calore del fornello di Bunsen, sono in breve disassociati; le particelle dei metalli sono poste in vibrazione dalle onde di calore, e si ottengono le righe degli spettri dei loro vapori. Ciò non si verifica soltanto pei sali di stronzio e di sodio, ma anche per alcuni degli stessi elementi. Se, invece, si pongono

Digitized by Google

nella fiamma dei sali di ferro, o di qualche altro metallo pesante, non si ottengono righe lucide. E così, con certi altri vapori, come con quello di solfo, non si ha uno spettro composto di righe, ma un tratto continuo, limitato ad alcuni colori. Si può dunque conchiudere, che, fatta eccezione di quegli elementi, che facilmente cambiano lo spettro a righe lucide con quello a righe oscure, il calore è assolutamente incapace di produrre righe lucide.

5. *Gli spettri delle sostanze, così elementari che composte, variano col variare il grado di calore.*

Si è visto che il fornello di Bunsen vale a liberare l'atomo di sodio dalla sua combinazione col cloro, e a farci dare dal suo vapore la riga lucida: ciò che non riesce, nel caso del ferro, e di altre sostanze. Si può dire, che questo è un primo stadio di temperatura. E molti sono i metalli monovalenti, che, ad un basso grado di calore, presentano i loro spettri a righe. Prendiamo invece dei metalli divalenti, come il zinco ed il cadmio: il primo stadio di temperatura non basta che ad elevarli al color rosso o al color bianco; per trasformarli in vapore, ci vuole una temperatura molto più elevata. Dal cadmio fuso, otteniamo lo spettro a righe come dal sodio? — Non l'otteniamo. — È un punto di somma importanza. Il primo stadio di temperatura, che ci dà uno spettro a righe, nel caso del sodio, non vale a darcene uno simile, nel caso del cadmio.

Per avere uno spettro a righe, bisogna quindi ricorrere, almeno, ad un secondo stadio di calore. Se si prende del solfo, e, sperimentando col metodo dell'assorbimento, lo si riscalda, al primo stadio, si ottiene uno spettro continuo. Innalzo la temperatura, fino al secondo stadio; che cosa

Digitized by Google

ottengo, allora? Uno spettro a linee come quello del sodio? — No! — Uno spettro senza una riga, simile a quello del carbonio. Innalziamo ancora la temperatura, fino ad un terzo stadio, ed allora si ha lo spettro a righe. Così, nel caso dei metalloidi, si possono distinguere tre stadii di temperatura, con tre spettri distinti. Se in tutto ciò non entra che una particella, non abbiamo ragione di domandare, se non vi dev' essere qualche differenza fra la *particolare* struttura dei metalloidi e quella dei metalli? e qualche relazione fra la temperatura ed il *peso atomico* dei chimici?

Prima di procedere oltre, voglio presentare questi risultati in uno specchietto, il quale faccia risaltare all'occhio come, in questi diversi stadii di temperatura, nel caso dei metalli, come il sodio, domina lo spettro a righe; mentre, nel caso dei metalloidi, come il solfo, domina lo spettro a colonnato.

	Na	Cd	S
Quinto stadio — scintilla	righe	righe	righe
Quarto stadio — arco	»	righe	spettro a colonnato
Terzo stadio — calor bianco	»	?	»
Secondo stadio — calor rosso intenso	»	assorbimento continuo nel turchino	»
Primo stadio — calor rosso scuro	»	spettro continuo	assorbimento continuo nel turchino

6. *Considerando, che gli spettri dei gas composti presentano delle righe, sarebbe avventato affermare, che gli aggregati, i quali, assoggettati alle più potenti forze disassocianti, che noi possiamo adoperare, seguitano a dare lo spettro a righe di un così detto elemento, non si potrebbero disaggregare*

Digitized by Google

se si potessero impiegare forze disassociative ancora più intense.

Questa proposizione è di grande importanza, non solo per le indagini celesti, ma anche per le terrestri; e se ne tratterà a lungo, nel capitolo sulla disassociazione.

7. *Lo spettroscopio fornisce argomenti, per credere, che, innalzando successivamente la temperatura di una massa di materia elementare, presa allo stato solido, essa va continuamente disaggregandosi, coll'elevarsi della temperatura. (L'azione dell'elettricità s'intende compresa).*

Gli argomenti, ch'io invoco, in proposito, si traggono dall'osservazione della parte visibile dello spettro.

Per cominciare dai casi estremi, tutti i solidi danno spettri continui; tutti i vapori, prodotti dalla scintilla a forte tensione, danno spettri a righe.

Ora, è un fatto, che gli spettri continui si osservano specialmente, nel caso dei composti chimici; i quali corpi, almeno tutti quelli che finora si conoscono, sotto l'azione della scintilla a forte tensione, si dividono nei loro elementi costitutivi. Epperò, se lo spettro di un elemento allo stato solido è simile a quello di una massa, che si sa essere più complessa, abbiamo ben ragione d'ammettere, che, in quello stato, l'elemento costituisce un sistema più complesso, che non allo stato di vapore.

Lo spettroscopio ci fornisce degli stadii intermedii.

(α) Gli spettri si modificano, quando si passa dalla corrente indotta, col condensatore, alla corrente indotta, senza condensatore, all'arco voltaico, o alla più elevata temperatura, prodotta dalla combustione. Il cambiamento è sempre in un senso, e si può inoltre osservare, che lo spettro, che così si

Digitized by Google

ottiene, da elementi, allo stato di vapore (spettro caratterizzato da intervalli e da bande), è simile a quello che si ottiene da vapori, la cui natura composta è indubitabile.

(β) Ad alte temperature, prodotte dalla combustione, i vapori di alcuni elementi (che a quelle temperature danno uno spettro nè a righe, nè a colonnato, sebbene, senza dubbio se ne otterrebbe uno spettro a righe, impiegando l'elettricità, come nel caso precedente), danno uno spettro continuo, nella regione più refrangibile; la meno refrangibile rimanendo inalterata.

(γ) Alle temperature ordinarie, in alcuni casi, come pel selenio, l'estremo più refrangibile è assorbito; in altri, allo spettro d'assorbimento continuo nell'azzurro, si unisce uno spettro continuo nel rosso. Comunicando del calore, lo spettro nel rosso scompare, quello nell'azzurro rimane; ed inoltre, come Faraday ha mostrato, nelle sue indagini sulle foglie d'oro, le masse, che assorbiscono nell'azzurro, possono essere separate da quelle che assorbiscono nel rosso. È ben noto, che molte sostanze composte, in soluzione, presentano un assorbimento nell'azzurro, o nell'azzurro, e nel rosso; come pure, che l'aggiunta di una sostanza composta (come l'acqua) ad altre pure composte, che assorbiscono nell'azzurro, aggiunge un assorbimento nel rosso.

Per riguardo ai casi, in cui queste norme non si trovano seguite, bisogna rammentarsi la brevità dello spettro visibile. Così, io ho qualche dubbio, che i gas semplici, alle condizioni ordinarie di temperatura e di pressione, presentino un assorbimento nell'ultra-violetto, e che i vapori molto composti siano spesso incolori, perchè il loro assorbimento si fa sempre oltre il rosso, e qualche volta anche oltre il violetto. Il vetro fornisce un caso favorevole; altri

Digitized by Google

si presentano, come in contraddizione colla opacità dei metalli.

Se supponiamo, a norma di ciò che si è conchiuso, che i varii spettri, di cui si è parlato, provengono realmente da diverse aggregazioni molecolari, avremo la serie seguente, che va dal più semplice al più complesso:

Primo stadio di complessità di una molecola . .	Spettro a righe.
Secondo stadio	Spettro a colonnato.
Terzo stadio	Assorbimento continuo nella regione azzurra, che non arriva fino all'estremo meno rifrangibile. (Questo assorbimento si può ridurre ad uno spettro a colonnato).
Quarto stadio	Assorbimento continuo nella regione rossa, che non arriva all'estremo più rifrangibile. (Questo assorbimento si può decomporre in uno spettro a colonnato).
Quinto stadio	Unico continuo assorbimento.

Si può dare un pajo d'esempii, del passaggio di uno spettro da uno stadio all'altro, cominciando dal quinto.

Dal quinto al quarto. L'assorbimento prodotto dai vapori di potassio, in un tubo arroventato, in principio, è continuo. Seguitando l'azione del calore, lo spettro continuo si divide nel mezzo; una parte si restringe all'azzurro e l'altra al rosso.

Il passaggio dal quarto al terzo, è illustrato nel più chiaro modo dalle ricerche di Faraday sulle foglie d'oro; e, per quanto alla spiegazione, io credo che quella che ne dò io, ammettendo soltanto due diversi gradi di complessità, è sufficiente, senza che torni necessaria la sua conclusione (*Researches on Chemistry*, p. 417), che esistano masse di *dimensioni* o *proporzioni intermedie*.

L'oro, come tutti sappiamo, è generalmente giallo, ma può essere anche azzurro, e talvolta rosso. Ora, è affatto chiaro,

Digitized by Google

Tav. V C

Digitized by Google

Digitized by Google

che, se le particelle vibrano, i colori delle sostanze devono ben avere qualche relazione colle vibrazioni. Che, se i colori hanno qualche relazione colle particelle, sarà colle loro vibrazioni. Siccome i colori principali dello spettro sono il rosso, il giallo e il turchino, i raggi rossi e i raggi turchini devono pure esercitare qualche azione in una sostanza, che trasmette o riflette soltanto i gialli. Poniamo una foglia d'oro, davanti alla luce Drummond, e vediamo se il giallo subisce o no un'alterazione. Il giallo scomparisce; si ha una tinta verde; mancano il rosso e il turchino. La foglia d'oro è di estrema sottigliezza. Che cosa accadrebbe, se si potesse renderla ancor più sottile? Il suo colore volgerebbe al violetto; ciò che io ho provato, adoperando l'acqua regia. Ma si può ottenere una soluzione d'oro, allo stato di gran divisione, la quale lascia passare la luce rossa, così che le sue particelle devono interessare le vibrazioni turchine; ed un'altra se ne può ottenere, che trasmette solamente l'azzurro. In che cosa sta la differenza? — Che cosa sono le differenze *specifiche* che passano fra l'oro di queste soluzioni, e l'oro che apparisce giallo, per luce riflessa, verde o violetto, per luce trasmessa? È questione degna di molto studio. — Citiamo qualche altro esperimento. Si prenda del cloruro di cobalto, il quale è azzurro, si ponga in una provetta, e vi si aggiunga dell'acqua. Esso diventa rosso. Io mi limito a domandare: Perchè diventa rosso? Prendiamo del cloruro di nichelio, che è giallo, e poniamolo in un'altra provetta; aggiungiamovi dell'acqua: diventa verde. Prima questione — Donde proviene questo cambiamento? Seconda questione — Il color verde di questa soluzione, e il color rosso della soluzione d'oro, hanno fra essi qualche relazione?

Digitized by Google

Dal terzo stadio al secondo — Il vapore di solfo, in principio, presenta un assorbimento continuo all'estremo azzurro, che, riscaldando, si risolve in uno spettro a colonnato.

Gli spettri a colonnato del potassio e del sodio, compariscono, dopo che è scomparso l'assorbimento nel turchino e nel rosso.

Dal secondo stadio al primo — Gli spettri di molti metalloidi sono a colonnato, quando non si introduce il condensatore nel circuito; introdotto questo, si presenta lo spettro a righe, mentre il vapore esterno, più freddo, dà uno spettro d'assorbimento a colonnato.

Gli spettri a colonnato del potassio e del sodio, si trasformano nello spettro a righe (con righe grosse, che poi si assottigliano) continuando l'azione del calore.

Queste varie combinazioni molecolari, possono forse arrivare a spiegare la legge chimica delle proporzioni multiple.

8. *Gli spettri a righe diventano più complicati, coll'aumentare la temperatura e la densità, purchè si mantenga lo stato di gas, o di vapore.*

L'importanza di questo risultato, per rispetto alla teoria molecolare, non può sfuggire. Nei solidi, le particelle possono soltanto oscillare intorno ad una posizione media; nei gas esse possono attraversare, con enorme rapidità, un immenso numero di svariati movimenti di rotazione e di vibrazione, oltre le corse libere, e, spettroscopicamente, si possono seguire questi movimenti, mediante la differenza dei fenomeni osservati. Colla condizione di solido o di liquido, troviamo uno spettro continuo; colla condizione di gas ad estrema rarefazione, il fenomeno è completamente cambiato,

Digitized by Google

e lo spettro consiste di una sola riga. Notiamo, che, per quanto riguarda lo spettro visibile, operando a bassa pressione, e a temperatura non troppo elevata, si riesce ad avere lo spettro composto di una sola riga, da ogni gas e da ogni vapore. Aumentando la densità, epperò il numero degli incontri: aumentando la temperatura, epperò l'energia di ciascheduno di essi, lo spettro diventa sempre più complicato.

9. *Nel caso dei metalli, questa complessità può presentarsi in due modi diversi.*

Figuriamoci le particelle, che si raffreddano, e perdono la loro energia, collo scostarsi dalla sorgente; vediamo, che, quanto più saranno presso al centro, tanto più si riurteranno, per cui più linee presenterà lo spettro. Importa di notare, che una vibrazione, suscitata che sia, seguita sempre, e non fa mai luogo ad altre, quantunque ad altre possa *dar* luogo. Segue da ciò che, nel centro, dove le particelle si trovano maggiormente raggruppate, si ha il maggior numero di righe.

E qui dobbiamo ricordare il fatto, che, il modo, in cui è costituito lo spettro complesso, varia nelle diverse sostanze. La tav. VII riproduce una fotografia dello spettro dell'alluminio e del calcio, paragonato con quello della meteorite di Lenarto. Gli spettri del calcio e dell'alluminio, e quello della meteorite, sono di diverso genere. Si faccia attenzione alle righe grosse o espanse, che si ottengono nei primi. I due metalli ci forniscono un buon esempio di corpi, il cui spettro diventa più brillante, quando aumenta la grossezza delle righe; mentre gli elementi della meteorite ci forniscono un esempio di quelli, il cui spettro diventa più brillante, quando ne cresce il numero.

Digitized by Google

10. *Quando si adoperano basse temperature, si osservano generalmente importanti differenze di qualità, fra gli spettri della classe dei metalli, e quelli della classe dei metalloidi.*

Dal punto di vista dello spettroscopio, è assai più facile di quello che possano immaginarsi i chimici, lo stabilire la

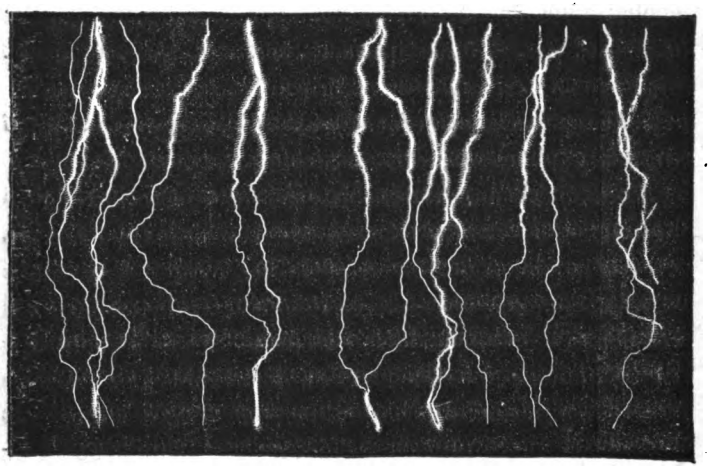


Fig. 40 — Copia della fotografia della scintilla nell'aria, presa dal prof. Tait.

differenza caratteristica, fra queste due grandi classi di elementi. Una parte dello spettro del vapore di carbonio, che è sempre presente nell'arco elettrico, ci fornisce il miglior esempio, che io possa dare, dello spettro dei metalloidi. Esso è ritmico. È *a colonnato.*

11. *Molti fenomeni, che si osservano, quando la vibrazione molecolare è suscitata dall'elettricità, sembrano indicare, che, in alcuni casi, sono interessate tutte le molecole: in altri, soltanto alcune.*

Digitized by Google

Quando si fa scoccare la scintilla, col condensatore, in un gas rarefatto, posto in un tubo di Geissler, è assolutamente certo, che sono intaccate tutte le molecole di quella massa di gas, quantunque, se il tubo è di forma irregolare, o contiene degli spazii capillari, assai probabilmente, tutte

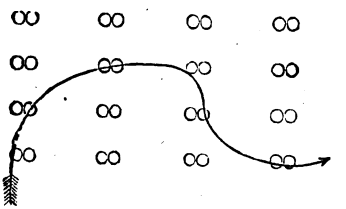


Fig. 41.

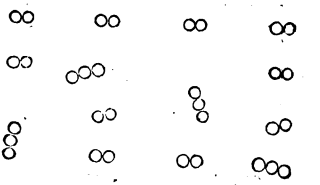


Fig. 42.

non saranno più d'una volta intaccate. Ma ogniqualvolta non si usa il condensatore, tranne quando la tensione è piccolissima, sembra che l'azione non si estenda a tutte le molecole. Perchè debba essere così, si rileva chiaramente, osservando le belle fotografie della scintilla nell'aria, che il prof. Tait ha ottenuto.

Salet, nelle sue interessanti indagini sull'idrogeno, ha mostrato, che, se si fa passare una tale scintilla attraverso l'idrogeno, a forte pressione, le linee sono sottili. — Se si considera, che l'ossigeno ordinario è diatomico, non si può spiegarsi la formazione dell'ozono, a meno che non si supponga, che soltanto un piccolo numero di molecole risente l'azione della scintilla.

Le annesse illustrazioni valgono a spiegare grossolanamente la mia idea. Nella fig. 41, vediamo una scintilla fra sedici molecole biatomiche; nella fig. 42, vediamo come ne possano risultare delle molecole triatomiche.

Digitized by Google

Nei casi precedenti, abbiamo sempre supposto, che le molecole attraversate dalla scintilla, dapprincipio, fossero tutte simili; ma vi sono fenomeni, che si osservano, quando si trattano miscele di gas e di vapori acidi, i quali meritano assai maggiore attenzione, che non abbiano finora ottenuta. Per prendere un esempio: variando la tensione della corrente, o la pressione del gas, da una miscela di vapore di mercurio e d'idrogeno, si puo ottenere, o soltanto lo spettro del mercurio, o soltanto quello dell'idrogeno, o entrambi, ad un tempo.

12. *Le particelle, tanto se le ampiezze delle loro vibrazioni sono così piccole, che esse non emettano luce visibile, come se sono abbastanza grandi, perchè emettano luce propria, assorbiscono la luce di pari lunghezza d'onda e di maggiore ampiezza.*

Qui ci troviamo davanti ad una delle più grandi leggi generali del nostro secolo, colla quale andranno sempre uniti i nomi di Stokes, Ångström, Balfour Stewart e Kirchhoff.

Pensiamo quanto è bello questo risultato, considerato nel campo della sua applicazione alla scienza dei moti molecolari. Poniamo del sodio in una fiamma, e abbiamo una luce gialla; poniamone fra i poli di una lampada elettrica, rendiamolo così incandescente: e la sua luce è di uno splendido giallo.

Intorno al sole, si trova del sodio, in quello stato di incandescenza, attraverso il quale passa la luce solare, per giungere alla terra; e noi possiamo avere, in un tubetto, del vapore di sodio non luminoso, attraverso il quale possiamo far passare la luce bianca di una lampada elettrica.

Digitized by Google

La vibrazione del vapore di sodio, nel caso del sole, varrebbe a darci le righe brillanti caratteristiche di quel metallo, quando si sopprimesse il nucleo interno e non si lasciasse che l'inviluppo vaporoso; mentre il vapore del tubo è invisibile nell'oscurità. Tuttavia, in entrambi i casi, il passaggio della luce è accompagnato da un assorbimento, per cui si ottengono righe oscure, invece che lucide.

La nostra conoscenza degli elementi, che si trovano nel sole e nelle stelle, dipende interamente, siccome abbiamo già detto, dal principio enunciato per la prima volta da Stokes: che le particelle entrano in vibrazione, quando, attraverso di esse, passano delle onde, della loro specifica rapidità.

13. *Quegli elementi il cui spettro è più complicato, quando ne sono più grosse le righe, producono più facilmente i fenomeni d'assorbimento.*

È questo un altro fatto notevole, in relazione coi precedenti. Nel mezzo delle grosse righe lucide, si osserva una sottile riga oscura, la quale è dovuta all'assorbimento del vapore più freddo, che si trova esteriormente al nucleo più caldo. Ciò si verifica, quasi costantemente, nelle sostanze le cui righe, col complicarsi dello spettro, s'ingrossano; mentre il ferro e i metalli analoghi non presentano mai una simile inversione. Convien sempre di provarsi a raggruppare insieme dei fatti. Questo, anzi, è il primo impegno dello scienziato. È strano, che in tutte le sostanze, che io ho esaminato, la considerazione del peso specifico decide non solo se lo spettro della sostanza sarà più complicato, quando le righe sono più grosse, o invece quando sono più sottili, ma inoltre, se l'inversione si otterrà facilmente. Così, il ferro

Digitized by Google

è molto pesante; mentre l'alluminio, il magnesio, il sodio ed altri metalli, che presentano l'ingrossamento delle righe, e la facile inversione, sono fra i più leggieri.

14. *In quei casi, in cui la luce delle linee espanse è assorbita dal vapore esterno più freddo, le righe più brevi non sono invertite.*

Possiamo citare alcuni esempii. Nello spettro del gas idrogeno protocarbonato, disassociato da una corrente d'induzione non è invertita che la linea F dell'idrogeno. In quello del vapore di sodio, prodotto dall'arco elettrico, non è invertita che la D; tutte le altre rimangono lucide.

Nello spettro del vapore di manganese, prodotto, in simile maniera, delle quattro righe adiacenti, poste nel violetto, sono assorbite solamente tre, come si vede nella tav. VI.

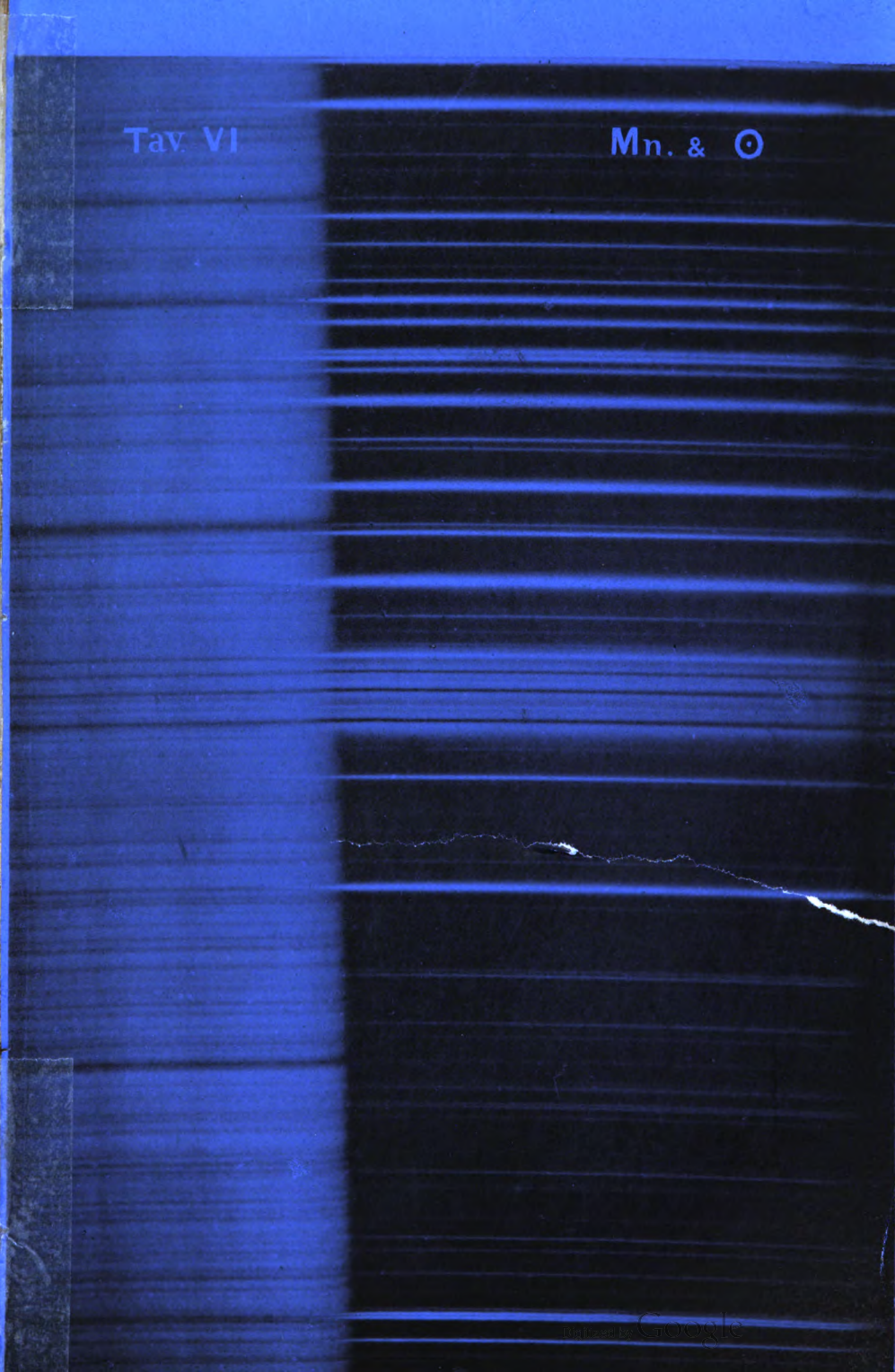
Un corollario di questa proposizione, almeno per quanto riguarda l'esperienza sul manganese, è che il moto molecolare del vapore di questo metallo, nel sole, è molto maggiore che non nelle parti più fredde dell'arco; come si può vedere, ricorrendo allo spettro solare, rappresentato in quella tavola, per servire di confronto.

Nel secondo spettro, troviamo tutte quelle righe invertite, per cui il moto molecolare, nel sole, dev'essere più intenso, che nel nucleo dell'arco.

15. *Una particella composta, cioè a dire, una particella, che si sa consistere di due elementi, ha una vibrazione sua propria, come la particella di un elemento.*

Così, per cominciare con un esempio bene stabilito, i sali di stronzio hanno ciascuno un proprio spettro. Prendiamo le particelle di N_2O_4. Lo spettro d'assorbimento di questo

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

gas, o, piuttosto, di questa miscela di gas, è assai complesso; le sue particelle hanno vibrazioni affatto caratteristiche. Ora è facile di decomporlo e di trasformarlo in NO_2. Allora produciamo un nuovo spettro. Questi fatti — e molti altri se ne potrebbero aggiungere — mostrano quindi, che una particella composta è un ente fisico perfettamente distinto, con vibrazioni, rotazioni e corse libere a sè. Nè vi è alcuna relazione apparente, fra le vibrazioni di una particella composta, e quelle delle singole sostanze, che la compongono.

16. *Nel caso dei metalloidi e dei gas composti, che ne contengono, lo spettro dipende molto dalla grossezza dello strato attraversato dalla luce, e spesso, se non costantemente, cresce l'assorbimento verso l'estremità rossa, quando la grossezza si aumenta.*

È questo uno dei punti della massima importanza, dal lato della teoria, e dei meno conosciuti. Si trova nel libro del prof. Maxwell, che, se si prende un vapore metallico, e se ne adopera uno strato molto grosso, si ha lo stesso spettro, come quando se ne adoperasse uno strato di piccolo spessore, ma di gran densità. Così asserisce il professor Maxwell. Io sarei dell'opinione, che ciò vorrebbe essere più specificato; poichè, in fatto di spessore, lo spettroscopio presenta al fisico questioni di milioni di chilometri e questioni di millimetri; e a qualcuno questa differenza di scala parrà sufficiente anzi che no.

Se prendo un tubetto, non più grosso di un carboncino da matita, vi rinchiudo dell'idrogeno, e lo rendo incandescente, sotto una certa pressione, vedremo una linea di certa grossezza. Guardando attraverso la corona solare,

Digitized by Google

durante un eclisse, si trapassano sette od ottocento mila miglia di gas idrogeno. E la grossezza della riga è la medesima. Così, adoperando strati di vapore di sodio, di diverso spessore, purchè non si cambii altro, non si altera la grossezza delle righe. Invece, quella proposizione si trova giustificata di più, se dai metalli si passa ai metalloidi. È una questione di molto interesse, se il cloro entra o no nell'atmosfera esterna del sole. Io ho cercato di risolverla, paragonando lo spettro d'assorbimento del cloro con quello del sole; adoperai diversi strati di cloro; ad ogni modificazione, lo spettro diventava più netto. Sembra, che, pei metalloidi, l'assorbimento, prodotto da piccoli strati, si faccia spesso nella regione violetta.

Ora, questi risultati si possono mettere d'accordo? — Confesso, che si cammina sopra un terreno molto incerto, e che, nello stato attuale della scienza, sarebbe forse meglio di tacere; ma, non ben sicuro, che non sarebbe codardia scientifica, domanderò, se, con tutte le riserve, la seguente spiegazione non potrebbe essere fra le probabili? Le righe dei vapori metallici, quantunque coll'aumentare lo spessore non s'ingrossino, come coll'aumentare la densità, diventano però più oscure; ma tutte le righe non sono visibili — generalmente, lo sono soltanto le più lunghe. Ora, se ammettiamo, che lo spettro a colonnato dei metalloidi, anche quando apparisce continuo, è realmente composto di righe [1]; potrebbe darsi, che un aumento di spessore, caricandone la tinta, non solo facesse apparire più brune quelle che già si vedono, ma ne rendesse visibili delle altre; ed è evidente,

[1] Le belle ricerche di Thalén sullo spettro del jodio, sostengono validamente questa opinione.

Digitized by Google

che se questo fatto seguiterà a verificarsi, finchè lo strato abbia raggiunto un grande spessore, l'apparenza dello spettro dovrà variare immensamente. Insomma, parrebbe, che, fra le righe grosse e le sottili dello spettro a colonnato dei metalloidi, vi fosse maggiore relazione, che non fra le righe lunghe e le brevi dello spettro dei metalli.

17. *Gl'incontri di molecole dissimili smorzano le vibrazioni di entrambe.*

Abbiam veduto al n. 8, che uno spettro diventa più complesso, quando cresce il numero degli incontri fra molecole simili. Sembra, per così dire, che gl'incontri simpatici, riempiano le molecole di nuova energia, della qualità opportuna per produrre lo spettro: epperò, aumentando la tensione, e la temperatura, cresce lo splendore. Se si opera, invece, sopra una miscela di molecole dissimili, l'esperienza dimostra, che, allora, gl'incontri antipatici, da una parte e dall'altra, scemano quell'energia. Se ci restringiamo a considerare uno dei due costituenti, vediamo, che un deperimento del suo spettro corrisponde ad ogni aumento della quantità dell'altro.

18. *Se dobbiamo ritenere, che le righe, così « fondamentali » come « brevi, » le quali si manifestano nello spettro dei metalli, sono dovute agli incontri: siccome, coll'aumentare la grossezza dello strato, non si altera necessariamente nè la loro quantità, nè la loro qualità: apparisce senza alcun fondamento teorico la supposizione, che un grande spessore dello strato di gas, o di vapore, faccia sì, che la sua radiazione, e quindi il suo assorbimento, prendano, più e più, col crescere della grossezza, i caratteri che danno uno spettro continuo.*

Digitized by Google

Per sostenere questa proposizione, ho eseguito le esperienze seguenti:

1. Un tubo di ferro, lungo circa un metro e mezzo, si riempì di idrogeno ben secco: e, per tutta la sua lunghezza, tranne presso gli estremi, si disposero, ad intervalli, dei pezzetti di sodio. Gli estremi erano chiusi da lastre di vetro. Messo il tubo in due fornelli a gas, posti di seguito, si riscaldò. Davanti ad un'estremità, si collocò una lampada elettrica; davanti all'altra, uno spettroscopio.

Quando il tubo salì al calor rosso, e fu, per quanto completamente era possibile, riempito di vapore di sodio, per tutta la sua lunghezza, mentre lo attraversava una lenta corrente di idrogeno, la linea D apparve assorbita; essa non appariva più grossa, di quando si osservava in condizioni simili, in un tubetto d'assaggio: e molto più sottile d'allora, quando si accresceva alquanto la densità del vapore.

Soltanto la riga più lunga « fondamentale » era assorbita.

Essa appariva un po' più grossa della riga D dello spettro solare, nel quale tutte le linee brevi sono invertite.

2. Siccome tornava difficile di molto aumentare, sia la densità, sia la temperatura del vapore di sodio, eseguii un'altra serie d'esperienze, col vapore di jodio.

Ho già accennato alla differenza, indicata dallo spettroscopio, che passa fra la qualità della vibrazione « dell'atomo » di un metallo, e quella del « subatomo » di un metalloide (col qual termine io dinoto la massa di materia, che dà uno spettro composto di tratti a colonnato, e che forma in un modo suo particolare, lo spettro continuo). Così, nel jodio, le righe brevi, che, negli spettri atomici, si manifestano, col crescere la densità, sono rappresentate da un sistema di ben definiti *battimenti,* e larghe strisce di

Digitized by Google

assorbimento continuo, che si aggiunge allo spettro più semplice, il quale è perfettamente ritmico, con intervalli crescenti dall'azzurro al rosso, e dove i battimenti sono appena distinguibili.

Aumentando la densità di un sottilissimo strato, mentre si riscaldava dolcemente, i battimenti e le striscie si vedevano introdursi nello spettro, finchè, seguitando ad accrescere la densità, l'assorbimento si estese a tutta la parte visibile.

Invece, l'assorbimento di uno strato di un metro e sessantacinque centimetri di vapore di jodio, alla temperatura di 15° C., non mi presentò alcuna traccia di striscie, mentre i battimenti erano così sbiaditi, che non si potevano discernere, che difficilmente.

19. *Determinate specie di particelle, agiscono sopra determinate parti dello spettro.*

Consideriamo le righe lucide dei metalli. Se si mescolassero insieme tutti i metalli, riscontrati nel sole, se ne facesse un composto, che li contenesse tutti, lo si ponesse nel polo inferiore di una lampada elettrica, e si fotografasse lo spettro, la maggior parte delle linee si troverebbe nel violetto, mentre nel rosso si stenterebbe a ritrovarne. È per questa ragione, che, lo spettro del sole, il quale contiene tanti metalli, è così complicato nel violetto. Adoperando una combinazione di metalli con metalloidi, si trova, invece, almeno in molti casi, che le vibrazioni abbondano in corrispondenza all'estremità rossa. Come pure, si riconosce, che vi è una certa relazione fra il peso atomico dei metalloidi, e la regione dello spettro, nella quale si manifestano le loro righe, in simili circostanze.

Abbiamo, così particelle semplici e onde brevi, particelle

Digitized by Google

composte e onde lunghe. Nè questo è tutto. In molti casi, entrambe le estremità dello spettro, e, in altrettanti, solamente l'estremità più refrangibile, appariscono troncate dall'assorbimento continuo. Il che accade, così frequentemente negli spettri d'assorbimento, che si è indotti a sospettare, che questo fatto provenga da una particolare disposizione delle particelle.

20. *Alcune vibrazioni presentano assai stretti legami con altre, ciò che prova la ricorrenza di simili gruppi di linee, in diverse regioni dello spettro.*

Qui ci troviamo di fronte ad una manifestazione delle vibrazioni molecolari, che, se io non m'inganno, sarà fatta più completa in avvenire, dalla fisica matematica.

Mi limiterò a citare due o tre esempii notevolissimi, osservati per la prima volta da Mascart. Vedremo, che in tutti, è la riga più lunga che dà il carattere.

Nel sodio si può dire, che la linea più lunga è doppia; alludo alle D′ e D″. Tutte le righe sono doppie.

Nel magnesio la linea più lunga si compone di tre. Ciò si ripete esattamente nel violetto.

Nel manganese si può quasi conchiudere, che lo stesso fatto si verifica; ma il fenomeno è assai più definito nelle particelle, che, come quelle del sodio e del magnesio, fondandomi sopra altre ragioni, sospetto, che abbiano una più semplice struttura.

21. *La nostra conoscenza delle vibrazioni delle particelle rimarrà incompleta, finchè non si conosca la loro condizione dall'estremo violetto (invisibile), all'estremo rosso (invisibile).*

Intanto si può ricavare un grande sussidio dalle induzioni,

Digitized by Google

e, nel caso dei metalloidi, dall'osservare la posizione dei tratti di assorbimento continuo. Chi sa, che in tal modo, non si riesca a gettare un po' più di luce sull'opacità di certe sostanze solide, e sulla trasparenza di altre?

Io credo, che, nel caso di certi gas e di certi vapori, apparentemente diafani, si può già dare per sicuro, che il loro assorbimento si compie, per alcuni, nella regione ultra-rossa, e per altri, nell'ultra-violetta. Inoltre, è ben difficile che questo assorbimento non sia di genere continuo o a colonnato: in altre parole, che alcun gas sia « atomico, » nel senso chimico, tranne quando è assoggettato all'azione dell'elettricità, o, nel caso dell'idrogeno, ad un'elevata temperatura.

Digitized by Google

CAPITOLO V.

RIGHE LUNGHE E BREVI.

§ 1. — *Prime osservazioni.*

Dall'epoca dei primi esperimenti di Wheatstone, che, nel 1835, riconobbe, come lo spettro di una scintilla elettrica, la quale scocchi fra due poli metallici, formati da metalli diversi, contenga le righe di entrambi: venendo fino alle ricerche di Stokes, Miller, e Robinson, cioè al 1862; non mi consta, che si sia mai fatto parola, di una distribuzione della luce, secondo la *larghezza* dello spettro.

Quando la scintilla scocca fra due poli, nell'aria, lo spettro contiene generalmente le righe dei due vapori, e quelle dell'aria miste insieme, tutte disposte attraverso l'intero campo.

Ma, sotto certe condizioni, non succede così. Stokes [1], che adoperava direttamente la scintilla, senza farne passare la luce per la fessura, notò, che le righe metalliche, « si distinguevano da quelle dell'aria, perchè apparivano soltanto ad una distanza quasi insensibile dalle punte degli elettrodi, mentre le altre attraversavano tutta la larghezza.

[1] *Philosophical Transactions*, vol. CLII, 1862, p. 603.

Digitized by Google

Miller [1], che adoperò la fessura, posta a breve distanza dalla scintilla, parlando delle sue fotografie degli spettri elettrici, osserva, « le estremità marginali delle righe metalliche, lasciano un'immagine più intensa che le parti centrali, » e designa le estremità di queste linee interrotte col nome di « puntini. »

L'annessa incisione, rappresentante lo spettro del cadmio, come fu fotografato da lui, mostrerà la proprietà di questo termine.

Sul medesimo argomento, Robinson [2] scrive: « Al margine dello spettro, che corrisponde al polo negativo (e, in grado molto minore, al positivo), si vedono righe estremamente chiare... le quali, però, sono brevi. »

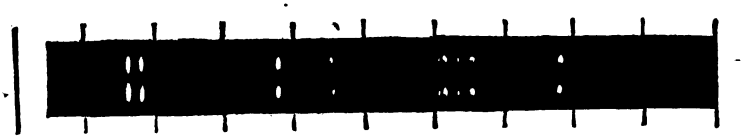


Fig. 43. Copia dello spettro del cadmio, secondo il dottor Miller, dove si vedono i *puntini*.

Thalén (quantunque non facesse uso, neppur egli, del metodo adoperato dal dott. Frankland e da me, nel 1869 e poi, e di cui si parlò a lungo nel cap. II), osservò questa localizzazione, fino ad un certo punto: senza dubbio, mercè il lungo collimatore, da esso impiegato.

Egli osserva [3]: « Il y a aussi des raies brillantes,qu'on n'observe que dans des cas exceptionnels, comme, par exem-

[1] Op. cit., pag. 877.
[2] Op. cit, pag. 947.
[3] Mémoire sur la determination des longueurs d'onde des raies métalliques, p. 12, stampate nei Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsalinensis. Ser. III, vol. VI. Upsala, 1868.

Digitized by Google

ple, quand la quantité de la substance soumise à l'expérience est très-abondante ou quand l'incandescence devient très-vive. Ces raies qui se présentent ordinairement aux bords du spectre sous la forme de points d'aiguille, même quand les autres raies du métal forment des lignes continues en travers du spectre, ont été représentées sur la planche par des lignes très-courtes. »

§ 2. — *Prove ricavate dal sole.*

Dichiaro subito, che, quando incominciai le mie ricerche di spettroscopia, tutto ciò mi era ignoto; è al sole, ch'io vado debitore delle mie prime informazioni, sopra questo argomento. Nel 1869 io dedicavo tutti i miei risparmii di tempo, all'osservazione della cromosfera, e riconobbi tosto, che, qualche volta, vi irrompevano getti di vapore di magnesio, di ferro e d'altri metalli [1].

Ai 14 di marzo di quell'anno, osservai, che, quando comparivano di questi getti di vapore di magnesio, le righe caratteristiche di quel metallo non raggiungevano tutte la stessa altezza.

Così, fra le righe *b*, b^1 e b^2 erano press'a poco della medesima lunghezza, mentre b^4 era notevolmente più corta.

In seguito, trovai, che delle 450 righe del ferro, osservate da Ångström, soltanto pochissime apparivano nello spettro della cromosfera, quando vi penetrava il vapore di ferro.

Il dott. Frankland ed io ci rendemmo subito ragione di questi fenomeni, conformemente alla nostra ipotesi [2], che

[1] *Proc. Roy. Soc.*, vol. XVII, p. 351.
[2] *Ibid.*, p. 290.

Digitized by Google

la maggior parte dell'assorbimento, donde provengono le righe di Fraunhofer, succede al disotto della cromosfera, pensando che, come nel caso dell'idrogeno e dell'azoto, lo spettro diventava più semplice, dove diminuivano la densità e la temperatura.

Per constatare la verità di questa supposizione, per mezzo di esperimenti da laboratorio, feci scoccare la scintilla nell'aria, fra due poli di magnesio, posti a tale distanza, che lo spettro non si estendeva dall'uno all'altro, ma era visibile soltanto per un breve tratto, corrispondente all'atmosfera di vapore di magnesio, che circondava ciascun polo.

Allora osservai, con tutta cura, se le righe *b* scomparivano; *e trovai, che esse si comportavano esattamente, come nel sole.* Dalle tre linee, la più refrangibile appariva, come più corta [1]. Che, se l'esperienza fosse stata fatta nell'idrogeno, invece che nell'aria, il fenomeno mostrato dal telescopio sarebbe stato riprodotto, quasi perfettamente; poichè, ogni aumento della temperatura della scintilla, spingeva il vapore di magnesio, a maggior distanza dal polo.

Le due incisioni annesse (fig. 44 e 45), tratte da fotografie, mostreranno dettagliatamente come il fenomeno appare, quando la scintilla della boccia passa (1) tra poli di *zinco e cadmio* (2), tra *cadmio e piombo*, e l'immagine è proiettata sulla fessura. Si vedrà, che, nel caso di questi vapori metallici (e lo stesso si verifica per tutti quelli, ch'io ho finora esaminato), le righe, come nel caso or menzionato della triplice riga del magnesio, sono di lunghezza diversa: e che, grazie al nuovo metodo d'osservazione, quelle dei

[1] Gli stessi fenomeni si osservavano, quando la scintilla scoccava nell'aria, entro un tubo di Geissler, nel quale la pressione si diminuiva gradualmente.

Digitized by Google

due metalli risultano separate nel modo più chiaro e più opportuno da quelle dell'aria: essendo queste disposte attraverso, mentre le prime non si estendono, che a qualche distanza dai rispettivi poli, e talvolta s'incontrano.

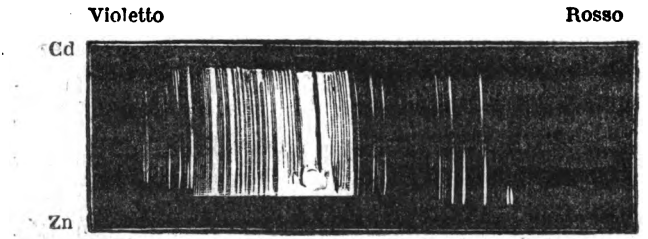


Fig. 41. Copia di una fotografia della scintilla, tra poli di zinco e cadmio, dove si vede la separazione dei tre spettri.

Molti di questi spettri sono stati osservati, anche tenendo i due metalli chiusi in un tubo, dove si andava diminuendo

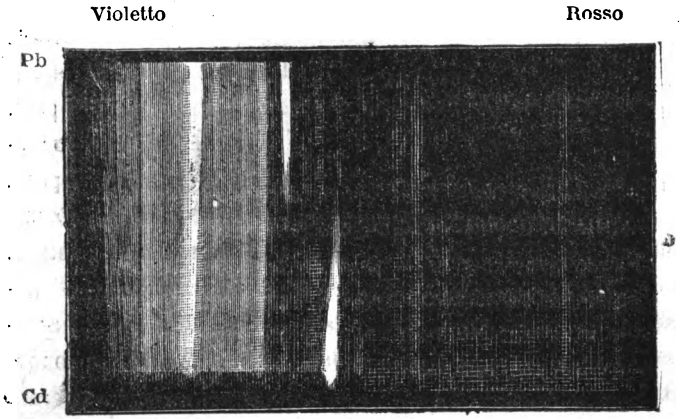


Fig. 45. Spettro del cadmio e del piombo.

la pressione. *In tutti questi esperimenti, si trovò, che, le linee più lunghe, restavano sempre visibili più lungamente.*

Digitized by Google

Nel caso del zinco, l'effetto di queste circostanze era notevolissimo, e i fenomeni, che si presentavano, possono prendersi come tipo di quelli, che generalmente succedono. Quando il provino, riunito colla pompa di Sprengel, segnava da 35 a 40 millimetri, lo spettro appariva normale, salvo che le righe 4924 e 4911 [1] (le quali, quando si osserva lo spettro sotto la pressione ordinaria, appariscono entrambe con larghe espansioni) erano di assai minore estensione. Facendo agire di nuovo la pompa, queste righe si accorciavano rapidamente, come pure la 4679, — mentre 4810 e 4721 rimanevano quasi inalterate; finalmente le due 4924 e 4911 svanivano, come pure 4679, e apparivano soltanto ad intervalli, presso ai poli in forma di macchiette: mentre 4810 e 4721 subivano un piccolo cambiamento di grandezza, sebbene cambiassero molto di lucidità. Questa esperienza fu ripetuta quattro volte, e, nelle singole circostanze, il provino si trovò quasi esattamente allo stesso punto: per esempio

1ª	osservazione — quando le linee 4921 e 4911 erano scomparse, il provino segnava			30	millimetri
2ª	»	»	»	29	»
3ª	»	»	»	29	«
4ª	»	»	»	31	»

Bastava che si risalisse a 34 millimetri, per ricuperare le righe perdute.

Apparve subito, che la luce emessa dalla scarica, dipendeva dalla quantità di vapore, posta fra i due poli: e, che, se questi erano formati di metalli egualmente volatilizzabili, o dello stesso metallo, il ponte era costituito da due masse di vapore eguali, o press'a poco. Segue da ciò, che, supposto che i due vapori non si mescano, la riga più

[1] Scala di Thalén secondo Watts.

Digitized by Google

lunga non si può estendere che per un tratto, eguale a metà della distanza, che separa i due poli.

Se i poli, invece, sono diversamente volatilizzabili, il ponte si mostra costituito interamente dal vapore proveniente da quello che lo è di più; epperò la linea più lunga può attraversare o tutta, o quasi tutta, la loro distanza.

In seguito a queste osservazioni, si adoperò l'alluminio, per formare i poli, nelle descritte esperienze; essendosi riconosciuto che questo metallo, nella scintilla, è estremamente rifrattorio: cioè a dire, che tutte le sue righe, poste nella parte più visibile dello spettro, sono brevissime — mentre il vapore che oltrepassa la regione corrispondente alle righe brevi, è sensibilmente capace soltanto di dare le due righe caratteristiche, che giacciono fra H_1 e H_2.

Vi sono molti fenomeni, in relazione con questa osservazione, che sono ben meritevoli di un attento studio. Per esempio, esaminato lo spettro del rame, mentre al relativo polo si affacciava una punta di piombaggine, l'effetto di questa si rivelava, pel modo singolare in cui le righe del metallo erano accorciate. Anche quando si riducevano i poli quasi a mutuo contatto, quelle righe si riducevano al polo rame, e non si estendevano attraverso lo spettro.

§ 3. — *Ulteriori ricerche.*

Poichè si ebbe così riconosciuto, che soltanto il vapore più puro e più denso dà il maggior numero di righe: o, in altre parole, che lo spettro veramente completo di un elemento si ottiene soltanto dallo stesso polo, dove si trova il vapore più puro e più denso: interessava di esaminare lo spettro delle combinazioni di un metallo con una sostanza non metallica.

Digitized by Google

Però fu eseguita una serie di esperienze, nelle quali si confrontarono gli spettri di diversi metalli, con quelli delle combinazioni dei metalli stessi col cloro [1]. Si trovò, che in tutti i casi la differenza fra lo spettro del metallo e quello del suo cloruro consisteva in ciò che: — *Nelle medesime condizioni di scarica, nello spettro del cloruro, le righe del metallo erano obliterate, mentre quelle dell'aria mantenevano inalterata la loro grossezza.*

Cambiando le condizioni della scarica, col levare la boccia dal circuito, questo cambiamento si mostrava nel massimo grado; tanto che finivano per rimanere visibili nello spettro del metallo, soltanto le righe notevolmente più lunghe.

Nel caso degli elementi di piccolo peso atomico, combinati con un equivalente di cloro, il numero delle righe che rimane è considerevole — più di 60 per cento, nel caso del litio, e di 40 per cento, in quello del sodio. Al contrario, un numero assai più piccolo ne rimane, coi metalli di maggior peso atomico, in combinazione con due equivalenti di cloro — per esempio, 8 per cento col bario, e 3 per cento col piombo.

Questi interessanti risultati ci animarono ad estendere le ricerche, e ad esaminare le righe lunghe e brevi dei metalli, che figurano nei sali. Questo argomento sarà completamente trattato nei capitoli seguenti.

Avendo le esperienze precedenti mostrato, come la presenza di un metalloide, chimicamente combinato, eserciti la sua influenza sullo spettro del metallo, nacque il desiderio di vedere, che cosa produceva una mescolanza meccanica.

[1] I composti esaminati, mediante la boccia, furono i seguenti: Li Cl, Na Cl, Mg Cl_2, Zn Cl_2, Sr Cl_2, Cd Cl_2, Ba Cl_2, Pb Cl_2, e Al_2 Cl_6. Per maggiori dettagli, vedi *Phil. Trans.*

Digitized by Google

Si fecero quindi degli esperimenti sopra miscele meccaniche. Come i risultati ottenuti da queste indagini ci possano, in avvenire, porgere il mezzo di rendere quantitativa l'analisi spettrale, si troverà esposto nel cap. VIII.

Nè dev'essere dimenticato, che nell'atmosfera del sole, si ha il caso più stupendo di miscela meccanica, che mai si possa immaginare. Però parve interessante che le linee invertite dello spettro solare fossero considerate da questo punto di vista.

Mi propongo di mostrare nel cap X, come le nostre nozioni intorno al sole, siano state ampliate da questo genere di ricerche.

Digitized by Google

CAPITOLO VI.

DELLO SPETTRO DEI SALI.

Nel capitolo V fu esposto che, come risultato delle esperienze ivi descritte, si stabilirono i fatti seguenti:

(1). Quando un vapore metallico si mescola con un altro vapore o gas, o si assoggetta ad una rarefazione, il suo spettro diventa più semplice, in quanto che scompariscono le righe più brevi, e molte altre si assottigliano.

(2). Quando si adopera la combinazione di un metallo con un metalloide — in altre parole, quando si passa dal metallo ad uno de' suoi *sali* (io adoperavo i cloruri) — nello spettro del cloruro, rimangono soltanto le righe più lunghe del metallo, — il cui numero è grande, nel caso dei metalli di piccolo peso atomico, piccolo, nel caso di quelli che hanno maggior peso atomico, e possiedono la facoltà di fissare due atomi di idrogeno.

In questo capitolo, mi propongo di esporre ciò che si è fatto, allo scopo di completare questi risultati preliminari, per prepararci ad ottenere quelli di cui tratta il capitolo seguente. Questo è dunque un capitolo intermedio.

In primo luogo si adoperarono diversi sali, nei quali i pesi atomici variavano:

Digitized by Google

1.° In ciascuna serie;

2.° Negli elementi associati in ciascuna serie.

A questo scopo, furono osservati gli spettri dei fluoruri, dei cloruri, dei bromuri e dei joduri di piombo, stronzio, bario, magnesio, sodio e litio.

Si seguiva il metodo esposto nel capitolo II. La scintilla si faceva scoccare nell'aria, senza bottiglia di Leida.

§ 1. — *Piombo.*

Nel caso del piombo, si trovò che lo spettro più complicato era dato dal fluoruro, e il meno complicato del joduro [1].

[1] I dettagli di questa esperienza sono i seguenti:

Fluoruro di piombo, Pb F_2. — Si vedevano le undici righe più lunghe delle seguenti lunghezze d'onda, secondo le osservazioni di Thalén, 4167,5 4216,0 4336,5 5163,0 5372,0 4523,5 5516,0 5507,0 6010,0 6059,0 e 6152,0.

Bisogna notare che, fra queste 4216,0 e 4336,5, si vedono soltanto per un breve tempo, quando la scintilla comincia a passare; 6152,0 è assai sbiadita, e 5523,5 brevissima; per modo che si può dire che lo spettro contiene soltanto sette righe distintamente visibili.

Cloruro di piombo, Pb Cl_2. — Osservando lo spettro di questo sale, si trovò che era semplificato nel modo seguente:

Le righe rimaste erano 4167,5 5163,0 5372,0 5523,5 5516,0 5307,0 6010,0 6059,0 e 6152,0; nove in tutto. 5523,5 era diventata brevissima, e 6152,0 alquanto più lucida che nel fluoruro.

Bromuro di piombo, Pb Br_2. — 4167,5 mantiene intatta la sua lucidità; 5163,0 5372,0 5516,0 e 5307,0 rimangono; 5523,5 è appena distinguibile come un punto, presso al polo; ma 6010,0 6059,0 e 6152,0 sono completamente perdute, per modo che lo spettro si riduce a cinque linee.

Joduro di piombo, Pb I_2. — 4167,5 è poco o nulla alterata; 5163,0 5372,0 5307,0 rimangono; 5516,0 è diventata un punto; e si vedono deboli traccie della 5523,5, allo stesso stato, ma assai più deboli.

Digitized by Google

La composizione in peso dei composti esaminati, era la seguente:

PbF_2	Pb : F = 1,0 : 0,18
$PbCl_2$	Pb : Cl = 1,0 : 0,31
$PbBr_2$	Pb : Cl = 1,0 : 0,77
PbI_2	Pb : Cl = 1,0 : 1,22

Esprimendo questi risultati in un'altra maniera, col prendere per unità l'elemento non metallico, abbiamo:

PbF_2	F : Pb = 1,0 : 5,4
$PbCl_2$	Cl : Pb = 1,0 : 2,9
$PbBr_2$	Br : Pb = 1,0 : 1,2
PbI_2	I : Pb = 1,0 : 0,8

Però, il numero delle righe caratteristiche del piombo, cresce col risalire le precedenti serie; per esempio, coll'aumentare del peso del piombo, come si rileva dalla seconda tabella. E si può enunciare semplicemente il fatto che, nel caso dei sali di piombo, la complessità dello spettro del metallo cresce col decrescere del peso atomico dell'elemento non metallico, col quale esso è combinato.

§ 2. — *Bario e stronzio.*

Il metallo, che si esaminò in seguito fu il bario, il cui peso atomico è molto minore di quello del piombo, e non molto al di sopra del peso atomico medio di tutti gli elementi. Si riconobbe tosto, che i fatti osservati col piombo non stavano più completamente, quantunque si riproducessero i fenomeni presentati dal cloruro, dal bromuro e dal joduro. Però, anche con questi sali, sebbene fossero della stessa natura, erano in grado alquanto minore. Per esempio, compariva con tutti lo stesso numero di righe metalliche; e, fra l'aspetto

Digitized by Google

dello spettro del cloruro e del bromuro, non vi era differenza sensibile. Invece, nel caso del joduro, si aveva un cangiamento notevole, nel senso che si poteva presumere dal modo di comportarsi del piombo; cosi, lo spettro diveniva più sbiadito, cioè a dire, mostrava una tendenza a svanire.

Ma, quando si esaminò il fluoruro, si ebbe uno stato di cose affatto diverso. Lo spettro, invece di diventare più complesso, divenne più semplice, poichè non presentò distintamente, che le quattro righe più lunghe del metallo, e poco lucide anch' esse.

Lo stronzio si comportò come il bario: la mancanza di righe nel fluoruro, diventando notevolissima.

Si rileverà dalle precedenti esperienze, e dall'unita carta dei sali di stronzio, osservati nell'aria, presi come tipo di questo gruppo, che le conclusioni fatte per il piombo non si applicano al bario e allo stronzio, i cui cloruri, bromuri e joduri sono facilmente e parimente volatili, mentre i fluoruri pare che cosi agevolmente non lo siano — almeno, a nessuna delle temperature, ch'io potei impiegare.

§ 3. — *Magnesio.*

Nel caso del magnesio, (il cui cloruro, bromuro, e ioduro, si comportarono più analogamente a quelli dei metalli alcalini, ai quali verrò tosto, che non a quelli del bario e dello stronzio), il fluoruro presentò la stessa ostinata resistenza all'azione della scintilla. Bisogna rammentarsi, che tutti e tre questi fluoruri non sono volatili; e cosi refrattarii, che, anche in seguito ad una lunga esposizione alla corrente elettrica, davano quasi nessun indizio di rammolli-

Digitized by Google

mento. Per esempio, nel caso del fluoruro di magnesio, si vedeva distintamente il sale spandersi come una nubecola di polvere, fuori dalla capsula: e quando una particella, cosi diffusa, si trasformava in vapore, nella scintilla, lo spettro presentava frammenti di righe *acuminate agli estremi.*

Soffiando una nube di fluoruro magnesico allo stato di fina polvere nella scintilla, si vedeva, in particolare, la *b*, come un gruppo di tre righe punteggiate.

§ 4. — *Sodio e litio.*

Il sodio e il litio, metalli di piccolo peso atomico, furono le sostanze, che poi si osservarono.

In una delle capsule di alluminio, s'introdusse un poco di *fluoruro di sodio*, e di contro si dispose una punta smussata di alluminio ben pulito [1]; si adoperarono il piccolo rocchetto e la boccia.

Mentre passava la scintilla, si vedeva soltanto la D. Si riaggiustò la spaccatura, e si rese la scintilla più forte: si ebbe il medesimo risultato. S'introdusse nella capsula del nuovo fluoruro umido; il risultato rimase ancora quello di prima.

Si trattò allora, nello stesso modo, il *cloruro di sodio:* essendosi riservato per esso, e disposto rimpetto alla capsula, un nuovo polo d'alluminio. D era visibile e brillante; la riga doppia nel rosso comparve, come un lampo, una volta: ma non si potè più rivedere, per quanto si sia caricata e ricaricata, parecchie volte, la capsula, di nuovo sale.

Il *bromuro di sodio*, trattato nello stesso modo, diede

[1] Si presero speciali precauzioni, perchè i due poli, nelle diverse esperienze, fossero sempre alla stessa distanza.

Digitized by Google

la D: la riga rossa non comparve che una volta: D, tuttavia, era più brillante, che nel caso precedente.

Il *joduro di sodio*, sempre collo stesso processo, presentò D, e la doppia riga rossa, che si mantenne costantemente visibile, mentre, qualche volta, compariva anche la doppia riga verde, situata presso D. D era lucidissima; e il sale s'innalzava dal polo, come un denso fumo bianco.

In seguito a tutto ciò, si tentò un nuovo attacco, con un più potente apparecchio. Parecchi rocchetti di App, di sei pollici, e una boccia di quasi 224 pollici quadrati di superficie armata, si adoperarono, con una forte pila di cinque coppie Grove, della capacità di una pinta. Tuttavia il risultato fu analogo. Il joduro ed il bromuro diedero tutte le righe del sodio, assai brillanti: mentre il cloruro presentava D, e la riga rossa lucidissima, attraverso tutta la larghezza dello spettro. Il fluoruro diede pure la D, e la doppia riga rossa: però quest'ultima non oltrepassava i tre quarti della larghezza dello spettro; e nè l'una nè l'altra apparivano così lucide, come nel caso del cloruro. Ulteriori osservazioni mostrarono, che, in certe circostanze apparivano tutte le righe, anche in questi ultimi sali, ma così sbiadite, da essere appena visibili; e si confermò il fatto, che questi composti si comportano in modo affatto discorde dai risultati ottenuti col piombo.

I seguenti esperimenti furono fatti col joduro e col cloruro di litio, nell'acido carbonico:

Il *joduro litico* diede la riga rossa caratteristica del litio (L. d'O, 6705), estesa attraverso tutto lo spettro, ma sbiaditissima; la riga aranciata (6102) appariva molto brillante, e per circa due terzi: la riga azzurra (4603) fu veduta in una sola occasione, brevissima e confusa.

Digitized by Google

Questo spettro differisce assai poco da quello del metallo: salvo che ivi le righe sono molto più lucide, la riga rossa e l'aranciata si estendono attraverso tutta la larghezza dello spettro, e l'azzurra per tre quarti [1].

Il *cloruro litico* presenta la riga rossa (6705, 2) sottile e sbiadita, ma attraverso tutto lo spettro: così l'aranciata, ma però assai brillante; si vide anche l'azzurra, sebbene, soltanto per una parte della larghezza.

Si rileverà da quanto precede, che il litio, il meno elettropositivo dei metalli alcalini, si avvicina ai terro-alcalini, bario e stronzio, nel modo di comportarsi allo spettroscopio, come si avvicina ad essi, per alcune sue proprietà chimiche. Così, lo spettro del suo joduro differisce da quello del cloruro, come lo spettro del joduro barico da quello del cloruro barico; e non si verifica quello che succede per il joduro e per il cloruro sodico, come si poteva presumere, a prima giunta, dall'essere questo metallo ordinariamente classificato fra gli alcalini.

§ 5. — *Spettri delle fiamme e delle deboli scariche elettriche.*

Cogli esperimenti, di cui passo a trattare, abbiamo raccolto alcuni risultati, da aggiungersi ai precedenti, i quali ci permetteranno di fare un confronto, tra gli spettri dei

[1] Si vedeva anche una linea a 4972, quando si adoperava il metallo; ma essa non è mai stata vista nel litio nè da Kirchhoff, nè da Thalén, nè da nessun altro osservatore, tranne Huggins.

Non v'ha dubbio, ch'essa è la riga del cesio, dovuto alla presenza di traccie di questo metallo, nel litio, come impurità.

Digitized by Google

sali, osservati per mezzo di una debole scarica, e quelli osservati con una fiamma di Bunsen, che furono fra i primi ad essere studiati.

Alcuni spettri di fiamme furono specialmente esaminati, allo scopo di notare, come si comportavano le righe lunghe e brevi, quando si riscaldavano dei globuli di sale, in anelli di filo di platino, nella fiamma Bunsen [1].

Paragonando gli spettri prodotti dalle fiamme, con quelli prodotti dalle scariche a piccola tensione, si trova, che gli

[2] Questi esperimenti diedero i risultati seguenti:

Bario. *Joduro barico.* Questo sale presentò lo spettro, che poi si riconobbe dovuto all'ossido, e la linea 5534,5 assai distintamente; esso colorò la fiamma in giallo verdognolo, e si fuse in una perla. Il *bromuro barico* diede lo spettro dell'ossido e 5534,5 con molta difficoltà; lo spettro non era molto brillante, e la fiamma poco colorata. Il *cloruro barico* diede lo stesso spettro, come i due sali precedenti, ma molto più luminoso; e la fiamma si tinse di un bel verde pallido. Il *fluoruro barico* diede appena una traccia dello spettro dell'ossido, e 5534,5 assai sbiadita; non si mostrò alcun indizio di fusione, non essendosi formato alcun granello, e la fiamma era soltanto debolmente e parzialmente colorata.

Stronzio. Il *joduro* riscaldato sopra un filo di platino nella fiamma di Bunsen, diede lo spettro nel rosso, così ben rappresentato dai disegni di Bunsen e di Kirchhoff, e la grande riga azzurra del metallo 4607,5. Il *bromuro* si comportò assai analogamente, ma mostrò per maggior tratto la costituzione del rosso: si vedeva anche la 4607,5, ed assai luminosa, ciò che costituiva una grande differenza dal caso del joduro, nello spettro del quale essa appariva per alcun tempo sbiadita, e poi alquanto più brillante. Il *cloruro* diede la striscia assai lucida in principio: meno, dopo alcun tempo; 4607,5 era più pallida, ma molto distinta. Il *fluoruro* ricusò di dare qualunque indizio di spettro, sia del metallo, che del composto; difatti, esso è soltanto suscettibile di essere riscaldato al calor bianco, e di dare uno spettro continuo.

Digitized by Google

spettri dei metalli in combinazione sono, nel primo caso, costantemente più semplici, che nel secondo, *nel qual caso si trovano semplificati, al punto, che rimane soltanto la linea più lunga.* Così:

Il *joduro barico*, colla scintilla a debole tensione, dà venticinque righe. Nella fiamma, non ne dà che una sola, la più lunga — cioè 5534, 5.

Egualmente il *bromuro*, ed il *joduro barico.*

Il *fluoruro barico* dà quattro righe colla scintilla: la sola 5534, 5, nella fiamma.

Così, passando al caso dello stronzio, troviamo che il *joduro stronzico*, osservato nella scintilla, dà trentadue righe: ed una sola nella fiamma, cioè la 4607, 5, che nello spettro del metallo è, di moltissimo, la più lunga di tutte.

Egualmente il *bromuro* ed il *cloruro.*

Il *fluoruro stronzico*, nella scintilla, presenta quaranta righe, mentre, nella fiamma, non dà neppure la più lunga. Difatti, non si ottiene spettro nè del metallo, nè del composto.

Importa di notare, che l'ossido stronzico ci offre una condizione intermedia fra il cloruro e il fluoruro.

In questo composto, lo spettro è rappresentato soltanto dalla striscia presso D. La più lunga riga del metallo, 4607, 5, ivi pure è invisibile.

§ 6. — *Simiglianza degli spettri dei sali osservati nell'aria.*

Fu subito notato, fin dalle prime osservazioni dello spettro dei sali, nella scintilla, come era già stato notato, nel caso della fiamma, che, dopo un certo tempo, lo spettro

Digitized by Google

presentava sempre un aspetto simile, qualunque si fosse il sale, introdotto nella capsula. Uno studio accurato, fatto dal signor Friswell, mio assistente, intorno ai fenomeni, che si presentano, quando il sale è assoggettato al calore dell'ordinaria fiamma di Bunsen, considerato in relazione cogli altri rami di questa indagine, rese estremamente probabile, che lo spettro a strisce sia quello dell'ossido [1].

[1] Queste osservazioni furono fatte con un grande spettroscopio di Steinheil a quattro prismi, come quello, che si adoperava nelle ordinarie osservazioni degli spettri metallici nella scintilla. Però, la fessura era più larga. Il sale era collocato in un anello di filo di platino, tenuto da una morsetta. La sorgente era una piccola lampada Bunsen.

Joduro di stronzio. Appena il filo si introduceva nella fiamma, il sale si fondeva, e la fiamma si tingeva intensamente di giallo.

Durante questo studio, lo spettro presentava lucidissima la riga D, e la striscia aranciata, caratteristica dei sali di stronzio, dalla parte meno refrangibile di D; ma *la riga metallica* 4607,5 *era invisibile*, o tutt'al più molto sbiadita.

Se, a tal punto, si levava rapidamente il globulo dalla fiamma, e lo si poneva di contro ad un foglio di carta bianca, se ne vedevano svolgersi densi fumi violetti di jodio. Introducendolo nuovamente nella fiamma, e continuando a riscaldare, esso diventava sempre meno fusibile, e finalmente si consolidava. Allora svaniva la tinta gialla della fiamma, che diventava rossa: la riga D spariva dallo spettro: lo spettro a striscie e 4607,5 apparivano lucidissime: la massa solida diventava incandescente ed emetteva uno spettro continuo. Allora, collocandola in una provetta, e trattandola con un acido, mostrava una effervescenza: e se si sottoponeva all'azione dell'acido nitrico e dell'amido, non si osservava più nessuna tinta azzurra.

Così, è evidente che il jodio ne era uscito, e che la massa consisteva principalmente di ossido di stronzio con qualche traccia di carbonato.

Sembra quindi che la decomposizione del composto e la volatilizzazione del jodio assorbisca tanto calore, che Sr I₂ non possa più raggiungere un grado sufficiente, per trasformarsi in vapore: e quindi

Digitized by Google

Queste osservazioni ridussero la questione press'a poco a questi termini:

Gli spettri dei sali prodotti dalla scintilla differiscono da quelli prodotti dalla fiamma, principalmente in ciò, che nei primi si ottengono più righe, che nei secondi.

La simiglianza degli spettri a strisce osservati, in entrambi i casi, proviene dal fatto, che si forma l'ossido, di cui si osserva lo spettro.

non si può più vedere il suo spettro, posto anche che la fiamma sia abbastanza calda, per rendere luminoso il suo vapore, e il corpo abbastanza stabile, per sopportare quel calore, senza esserne decomposto. Però è un fatto che quello spettro, che si vede, è dovuto all'azione decomponente della fiamma, che agisce o sopra piccole quantità di SrI_2 che riescono a volatilizzarsi, o, ciò che è più probabile, che sono trasportate meccanicamente dalla corrente ascendente di vapori di jodio. Vuolsi notare, che, quando il grano è diventato infusibile, lo spettro comincia a svanire: la striscia aranciata non apparisce che assai pallida, e la 4607,5 scompare completamente. Allora nella fiamma,non abbiamo più altro che l'ossido, non volatile, il quale, necessariamente non può dare che lo spettro continuo dovuto alla sua incandescenza.

Il *bromuro stronzico* si comporta assai analogamente al joduro; e l'unica differenza dipende dalla maggiore stabilità del secondo, posto che sia nella fiamma. Levando la perla, non si osserva che poco fumo, e si sente un leggierissimo odore di bromo. Il globulo emette ancora del bromo, anche dopo che è stato riscaldato per lungo tempo, se si tratta con acido solforico od ossido manganico.

Il *cloruro* non mostra nessuna tendenza a decomporsi; si mantiene chiaramente diafano, e fusibile all'estremo, e svolge cloro, quando è trattato nel modo opportuno.

Il *fluoruro* fu il più stabile di tutti; non si volle fondere, non tinse la fiamma, e conservò ostinatamente il suo fluoro, fino all'ultimo, come lo dimostrava il fatto, che la massa dava la reazione ordinaria del fluoro, quando si trattava coll'acido solforico, sopra una lastra di vetro.

Digitized by Google

Come si siano proseguite queste ricerche, e come tutti i fenomeni fin qui ricordati, siano stati spiegati, introducendo il concetto della disassociazione del sale, prodotta dalle diverse sorgenti impiegate, si discuterà nel seguente capitolo.

Digitized by Google

CAPITOLO VII.

DELLA DISASSOCIAZIONE.

Noi ci vediamo dappertutto circondati da un numero enorme di cose perfettamente distinte, alcune coi caratteri della vitalità, altre inanimate ed immobili; ma, fra questa varietà, che si direbbe infinita, la chimica ci offre una quasi assoluta semplicità. Essa ci insegna, che tutto ciò che esiste, si compone realmente di una o più, fra sole sessantatrè cose differenti; che tutto il regno animale, il regno vegetale, il regno minerale sono costituiti da sole sessantatrè sostanze diverse. La scienza semplifica sempre; e questa è pure una semplificazione meravigliosa.

Ora, noi possiamo considerare queste sessantatrè sostanze, da due diversi punti di vista. Possiamo considerarle nelle loro relazioni fisiche, o sotto un aspetto più puramente chimico. Nel primo caso, troviamo, che fra esse vi sono cinquantasei solidi, due liquidi e cinque gas. Nel secondo caso, lasciando da parte ogni distinzione fra solidi, liquidi e gas, vediamo, che alcune sono metalli, altre metalloidi: mentre altre ne rimangono, che, bisogna confessarlo, è difficile di classificare esattamente, decidendo se appartengono piuttosto alla classe dei metalli, che a quella dei metalloidi. Nel modo stesso, il biologo trova assolutamente impossibile

Digitized by Google

di appuntare il dito ad una divisione speciale del regno organico, e dire: Qui incomincia il regno dei vegetali, o quello degli animali.

I caratteri chimici, a cui alludeva, sono poi affatto indipendenti dallo stato fisico. Per esempio, fra i metalli più metallici si annovera un gas. Così, vi è un metallo liquido — il mercurio; per modo che si ha fra i metalli la scala dei tre stati fisici, aeriforme, liquido e solido: sebbene, comunemente si soglia immaginare che quel termine si applichi soltanto a dei solidi, come l'oro, l'argento od il ferro. Dalla parte dei metalloidi, abbiamo pure dei gas — l'ossigeno e l'azoto, noti a tutti; — abbiamo il bromo liquido, e va dicendo, in compagnia di altri metalloidi, ben distinti, come il fosforo, il carbonio, il solfo e il jodio, che generalmente si immaginano allo stato solido.

§ 1. — *L'opera del chimico.*

In qual modo il chimico è riuscito a mettere in luce questa mirabile semplicità? Egli ha decomposto, ad uno ad uno, tutti i corpi composti, che si possono trovare nei dominii della natura; ha disassociato le molecole, donde ciascuno era costituito: e così ha potuto studiare i singoli costituenti. Che, se un costituente era, alla sua volta, composto, lo riduceva, esso pure, ne' suoi elementi: e così via, finchè arrivava al comune fondamento elementare.

Possiamo dire qualcosa di più preciso? Mi pare di sì. Mi pare che siamo inappuntabili, dicendo, che, in tutta quanta l'opera sua, il chimico fa uso sopra tutto di *vibrazioni*. Egli trova il mondo costituito da molecole, con milioni di complessità, di combinazioni, di grandezze; ed agisce sopra

Digitized by Google

di esse, per mezzo delle vibrazioni. Per le molecole più grosse, trova nel calore tutto ciò che gli abbisogna: ma quando si tratta di più delicate, bisogna che invochi l'elettricità, la quale fa, per riguardo ad esse, ciò che il calore fa per le altre.

Cercherò di spiegare il mio concetto. Immaginiamo una estesa serie di v brazioni, che comincia dalle più lunghe, e finisce colle più brevi. Sappiamo, che il calore consiste di vibrazioni, come pure, che di vibrazioni consiste la luce. Supponiamo, che anche l'elettricità dipenda da vibrazioni, ed ammettiamo inoltre, che siano brevi. Noi otteniamo calore del sole, e fra queste vibrazioni ve ne sono alcune, colle quali è accordato il nostro occhio. Un immenso calore otteniamo dalla fiamma a gas ossidrico, ma, praticamente parlando, punto di luce. Molti dei fenomeni elettrici, che conosciamo, succedono invisibili, e senza produzione di calore, ciò che prova che non sono fenomeni dipendenti da onde lunghe; altri ci sono perfettamente visibili, perchè le corrispondenti vibrazioni sono a portata della nostra vista; ma, per averne anche del calore, sono necessarie pressioni e complicazioni molecolari. E succede, *come se* si avessero da una parte, lunghe onde calorifiche, dall'altra brevi onde elettriche, con proprie funzioni — il calore dandoci fenomeni *visibili*, coi solidi e coi liquidi, mediante l'aggiunta di onde più brevi; mentre l'elettricità ce ne presenta coi gas e coi vapori, mediante l'aggiunta di onde più lunghe: il calore, passando invisibile attraverso i gas, e l'elettricità, attraverso i solidi: il calore producendo cambiamenti chimici nei solidi e nei liquidi, e l'elettricità producendone di simili nei gas.

Ciò posto, supponiamo che il moto molecolare, chiamato

Digitized by Google

calore, colle sue onde lunghe, intacchi specialmente le molecole più grosse, cioè i corpi composti: mentre il moto molecolare che costituisce l'elettricità, qualunque poi sia, specialmente intacchi le molecole più piccole, cioè gli atomi dei corpi semplici. Conformemente a questa ipotesi, troviamo, che, se un chimico si propone di ridurre i milioni di molecole, che si trovano in quella complicatissima molecola che è un pezzo di ghiaccio, deve comunicarvi del calore, ed ottiene una semplificazione fisica, ma non chimica, quando si produce dell'acqua; uno stadio più avanzato, ma esattamente della stessa natura, si fa, quando l'acqua si trasforma in vapore; ma, non è che per effetto di una temperatura enorme, coll'aggiunta delle sue vibrazioni brevi, o, quando si ricorre all'elettricità, che la molecola composta si separa nei due enti semplici — ossigeno ed idrogeno: salvo che non si aggiunga la vibrazione di un'altra molecola di sostanza semplice (o elemento), che li aiuti a distaccarsi.

§ 2. — *Azione del calore.*

Come esempii dell'azione del calore, citerò un paio di esperienze, fra le più comuni, atte a dimostrare, che, in una grande quantità di fenomeni chimici, la vibrazione calorica, necessaria per produrre la semplificazione, mediante la quale le sostanze elementari sono ridotte ad esistere come tali, è fornito dall'azione chimica stessa; è desso calore generato da sospensione di moto. In altri casi, dobbiamo ricorrere a sorgenti estranee; ma riteniamo bene, che, in qualunque modo si faccia, il calore non sarà mai di nostra fabbrica. Generalmente sarà ancora il risultato di una com-

Digitized by Google

binazione chimica. Per esempio, se io prendo un pezzetto di potassio, e lo getto nell'acqua, esso istantaneamente prenderà foco. In questo caso, abbiamo un metallo freddo, che gettato nell'acqua fredda, subito s'infiamma, per effetto del calore di combinazione, generato dall'attrazione, che si esercita, tra il potassio e l'acqua. Come risultato di questa comunicazione di vibrazioni caloriche, l'acqua si semplifica, uno de' suoi costituenti semplici, l'ossigeno, si combina col potassio, mentre l'altro, l'idrogeno, si svolge, e si può raccogliere in una campanella.

Un altro esempio si può ricavare da una miscela d'acqua e d'acido solforico. Poniamo un po' d'etere in una provetta, e introduciamola in un bicchiere. Se nel bicchiere versiamo dell'acqua, l'etere, posto nella provetta, non subirà alcuna alterazione, come se nulla fosse accaduto. Ma se poi aggiungiamo all'acqua dell'acido solforico, che cosa succede? Si esercita un' attrazione fra le due sostanze: come risultato della combinazione chimica, si suscita una vibrazione calorica: e, come risultato di questa, l'acqua diventa calda, senza trasformarsi in vapore; mentre l'etere, perchè più facile a vaporizzarsi, per effetto di quelle vibrazioni, si riscalda, e si trasforma in vapore.

Si può scegliere un'altra esperienza, fra le molte altre, che si sarebbero potute citare, per mostrare i cambiamenti prodotti dalle vibrazioni caloriche. Il bicromato potassico, in seguito ad una comunicazione di calore, si riduce istantaneamente. Quando dico istantaneamente, intendo che probabilmente, pochi secondi si richiedono, perchè agisca il calore; in questo caso, l'applicazione del calore comunicato da una sorgente esterna, è accompagnato da un cambiamento della tinta della soluzione; ma il calore del fornello

Digitized by Google

di Bunsen, così impiegato, è tuttavia un effetto di combinazioni chimiche, per modo che non si fa che spostarsi di uno stadio.

§ 3. — *Elettricità.*

Ma, come mezzo di produrre l'azione chimica e il suo risultato, la semplificazione, non abbiamo soltanto il calore, colle sue onde lunghe; siccome abbiamo detto, abbiamo anche un altro agente — l'elettricità.

L'elettrolisi dell'acqua varrà subito a mostrarci come ordinariamente l'azione dell' elettricità si presenti con caratteri affatto speciali. Però, dobbiamo avere due campanelle di vetro, piene d'acqua, immerse in una medesima massa d'acqua, cosicchè le quantità da esse contenute si trovino in comunicazione: una pila: e, riunite con essa, due laminette di platino, una sotto l'una campanella, ed una sotto l'altra. All'atto, che si chiude il circuito, l'acqua si decompone: dalle foglie di platino si svolgono delle bollicine: le quali, da una parte, sono d'idrogeno, dall'altra, sono del secondo costituente dell'acqua, cioè d'ossigeno. In questa esperienza, vedete, come, non già per mezzo delle lunghe onde di calore, ma, per mezzo dell'elettricità, si produca una disassociazione completa, ossia una completa separazione degli elementi dell'acqua: risultato, che conformemente a ciò che si è detto, le onde lunghe da sole non potrebbero mai produrre, tornando ad ogni modo, necessaria una temperatura elevata, cioè il sussidio di onde brevi.

Si danno poi esempii di semplificazioni, prodotte dall'azione combinata del calore e dell'elettricità. Termino questa parte dell'argomento, osservando che, se si definiscono

Digitized by Google

le ultime particelle di un elemento, come atomi: le agglomerazioni di atomi, come molecole — chiamando queste elementari, quando gli atomi sono simili, e composte, quando sono dissimili — le onde di calore generalmente ci servono a raggiungere la molecola, mentre l'elettricità ci serve a raggiungere l'atomo; e, notiamo bene, dico soltanto *generalmente*. Tutto ciò potrebbe essere vero, in ogni caso, se tutti gli atomi fossero d'una specie: ma intorno a questo punto dobbiamo limitarci a dire, che non sappiamo nulla. In seguito, io tenterò di addurre delle prove, per mostrare piuttosto che si comportano assai diversamente. Naturalmente, noi non possiamo studiarli, che, considerando le loro vibrazioni; poichè, secondo i calcoli di Sir G. Thomson, gli atomi dell'acqua sono così piccoli, che, se una goccia d'acqua fosse ingrandita al punto da apparire eguale alla terra, gli atomi apparirebbero non più grossi di una palla da cricket, e non più piccoli di una palla da fucile.

Bisogna ben intendere, che io qui alludo al vero atomo; e non all'atomo dei chimici, il cui peso essi danno per « peso atomico. » È probabile che si scopra, che questo è spesso una molecola, talvolta assai complessa, che un intenso calore o l'elettricità possono suddividere: la seconda, in qualche caso, più di una volta. Ora, prima che lo spettroscopio s'introducesse nella scienza, il chimico non sapeva di certo altro, che decomponeva delle masse di materia, mediante l'analisi chimica, prima de'la sostanza assoggettata all'esperimento, poi, dei prodotti dell'esperimento medesimo.

Digitized by Google

§ 4. — *Lo spettroscopio e la disassociazione.*

L'introduzione di questo istrumento fornì un nuovo sussidio allo studio così della quantità, come della qualità, della disassociazione; e questo ramo non è importante dal solo punto di vista della chimica, poichè se ne ricavarono le più preziose informazioni, intorno ai cambiamenti di struttura molecolare.

Kirchhoff e Bunsen ci appresero da lungo tempo, che i solidi e i liquidi danno spettri continui, e che i gas ed i vapori, vale a dire, secondo me, i costituenti disassociati dei solidi e dei liquidi, danno spettri e righe. Di qui il primo impulso ad impiegare lo spettroscopio, per investigare la disassociazione.

Vediamo quali sono le prime distinzioni, che possiamo fare, fra gli spettri.

Se si ha della materia allo stato solido, cioè composta di molecole grosse, e quasi a contatto, agitate da onde di calore, se ne ottiene uno spettro di specie particolare, detto « spettro continuo: » mentre invece, se si tratta un gas od un vapore, a bassa pressione, cioè una sostanza le cui molecole sono più piccole e più disgiunte, che nel precedente caso, e si trovano agitate dall'elettricità, o, in qualche caso, dal calore, si ottiene uno spettro, nel quale la luce non è distribuita continuamente. Difatti, appariscono soltanto alcune righe lucide, che rappresentano poche immagini della fessura. Questo fatto permette allo spettroscopio, di stabilire una differenza fra lo stato raro e lo stato denso della materia, affatto indipendentemente dalla qualità particolare della materia stessa: e sia che si ricorra alla ra-

Digitized by Google

diazione o all'assorbimento; poichè, siccome abbiamo veduto, una sostanza, quando possiede una certa costituzione molecolare, assorbisce quelle stesse ondulazioni, che, con quella costituzione, è capace di generare. Così di qualunque materia si tratti, lo spettroscopio ci dice subito, se è in condizione di gas o di vapore, nel qual caso abbiamo righe o strisce; oppure, se è in uno stato, in cui le molecole sono probabilmente più complesse, e quasi a contatto — nel qual caso, otteniamo uno spettro più o meno continuo.

Però, abbiamo due specie distinte: lo spettro a righe, che ci dà la vibrazione individuale delle più piccole masse di una singola qualità di materia, e lo spettro continuo, che rappresenta la non individuale vibrazione di un più complesso aggregato. Per spiegarmi del tutto, piglio due esempii. Il ferro fuso ed il sodio fuso danno il medesimo spettro — uno spettro continuo. Fin qui niente di caratteristico. Invece, i vapori di sodio, e di ferro, ottenuti col sussidio dell'elettricità, danno, il primo, quattro ordini di righe doppie, il secondo, forse un migliaio di righe irregolarmente disseminate, per tutta la lunghezza dello spettro. Tra questi due stadii, se ne osservano tre altri; uno speciale ad ogni elemento, e due comuni a tutti.

Insomma, quando si tratta di sostanze elementari, gli spettri, che si sono riscontrati, sono i seguenti (cap. IV n. 16):

Righe.

Colonnato.

Spettro continuo nell'azzurro.

_____ nel rosso.

_____ per tutta la lunghezza.

Così nel caso delle sostanze elementari, possediamo già

Digitized by Google

un criterio spettroscopico per due, certamente, e, colla maggiore probabilità, per cinque diversi stati fisici.

Ciò basti, per le differenze fisiche.

E per quanto alle differenze chimiche? Qui le informazioni fornite dallo spettroscopio sono di un carattere molto più stringente. Lo spettroscopio, in generale, (dico in generale, perchè ho già detto del confine dei metalli coi metalloidi) ci permette subito di distinguere le due categorie di corpi, colla stessa precisione, con cui ci serve, per distinguere solidi e gas.

I metalli danno sempre lo spettro a righe, quando, per produrre il vapore, si adopera l'elettricità, e, qualche volta, quando si adopera il calore.

I metalloidi, coll'elettricità, danno pure le righe, ma non ne presentano mai, quando si fa uso del calore. Le lunghe onde caloriche, agendo sopra le molecole dei metalloidi, non riescono a produrre che tratti a striscie, o a colonnato.

Vi è un'altra distinzione, della massima importanza.

Come, per l'apparenza dello spettro, si può distinguere un metallo da un metalloide, si vede, per mezzo dello spettroscopio, una differenza fra lo spettro della molecola di un composto, e quello di una molecola elementare. Mi spiegherò meglio. — Se si tratta un elemento metallico, si ottiene uno spettro di specie particolare, così esattamente definito, che, una volta veduto, si riconoscerà sempre, quando si abbia a che fare coll'atomo di un metallo. Parimenti, quando si trattino dei metalloidi, lo spettro, che ordinariamente si osserva, è così distinto da quello dei metalli, che una volta che si sia veduto lo spettro di un metalloide, prodotto da lunghe onde di calore, si sarà sem-

Digitized by Google

pre in grado di riconoscerlo: nè vi sarà pericolo di prenderlo in sbaglio, per lo spettro a righe di un metallo.

Quando si adopera l'elettricità, i metalloidi presentano le stesse apparenze dei metalli, come il ferro ed il sodio: ed è soltanto, quando si fa uso del calore, che si manifestano quelle altre differenze, a cui accennavo.

Finora abbiamo sempre trattato di molecole elementari — di atomi, di metalli e metalloidi.

Vediamo, che cosa succede, quando si prende una molecola composta. Prendiamo, ad esempio, una combinazione di metalloidi e metalli, come dei sali di stronzio — il cloruro, il joduro, ecc. — Qui abbiamo delle molecole composte, cioè non più costituite da una sola sostanza, ma da due: e le lunghe onde di calore, sebbene possano metterle in vibrazione, epperò farle radiare, non valgono a disgiungerle.

Si trova, che lo spettroscopio è perfettamente atto a distinguere tali spettri dagli altri; per modo che, una volta, che si sia veduto, per esempio lo spettro del joduro di stronzio, si sapranno poi sempre riconoscere tutti quelli, che sono dati da molecole composte, come quella del joduro di stronzio.

La stessa osservazione si applica alle molecole, dove entra l'ossigeno. I loro spettri somigliano molto a quelli dei metalloidi, ma le striscie stanno più discoste, e, di regola, tendono alla regione violetta: così che si distinguono, senza difficoltà.

Una parola di più, intorno alla differenza fondamentale, che passa fra lo spettro dei metalloidi e quello dei metalli, da una parte, e dei composti, dall'altra. I metalloidi presentano uno spettro a colonnato, che occupa talvolta la

Digitized by Google

regione centrale, cioè il verde, o li presso; mentre, nel caso dei vapori metallici, come il ferro, ecc., si ottengono soltanto delle righe lucide — nessuna striscia; e, per quanto ai composti, come il joduro di stronzio da me citato, si ha qualcosa di mezzo, fra uno spettro a tratti a colonnato ed a striscie, ed uno spettro a righe; ma, in tutti i casi, che io ho esaminato, ad eccezione degli ossidi, le righe si riducono all'estremità rossa.

Così, possediamo tutte le cognizioni necessarie, per metterci alla portata, d'apprezzare il sussidio, che arreca lo spettroscopio, quando si vogliono studiare gli effetti della disassociazione.

In primo luogo, tutte le volte che le molecole dei solidi, i quali danno lo spettro continuo, si riducono allo stato di vapore — o, in altre parole, quando si disassociano, nel modo più completo, — si ottengono le righe dell'elemento, o degli elementi costitutivi.

In secondo luogo, si prenda una molecola composta, cioè l'associazione di due molecole, o atomi, appartenenti a sostanze chimicamente diverse. Allora, vien subito in scena la questione delle vibrazioni; poichè, se l'ufficio della vibrazione, sia che si tratti delle molecole più grosse, e delle onde caloriche, o delle più piccole, e dell'elettricità, è di rendere più semplice, ciò che prima era complesso: dobbiamo ottenere, in questo caso, delle differenze spettroscopiche.

Io, quindi, mi propongo di discutere diffusamente la questione della disassociazione dei corpi, che si conoscono per composti. Le considerazioni, esposte nell'ultimo capitolo, ci permettono di farlo con maggior profitto.

Digitized by Google

§ 5. — *Spettri dei corpi composti.*

Alcune delle prime osservazioni, di questo genere, si trovano descritte (1860) da Kirchhoff e da Bunsen [1]. Essi osservano: « Abbiamo confrontato gli spettri rappresentati dalla tavola [2], che si ottennero dai cloruri, allo stato di purezza, con quelli che si producevano, quando i bromuri, i joduri, gli ossidi idrati, i solfati, e i carbonati dei singoli metalli erano introdotti nelle fiamme seguenti:

Nella fiamma del solfo
» » del bisolfuro di carbonio
» » dell'alcool acquoso
» » non luminosa dell'idrogeno protocarbonato
» » dell'ossido di carbonio
» » dell'idrogeno
» » a gas ossidrico.

« Come risultato di queste abbastanza lunghe esperienze, di cui qui omettiamo i dettagli, apparisce, che la diversità dei corpi, coi quali furono combinati i metalli, presi ad esame, la varietà della natura dei singoli processi chimici, che hanno luogo nelle diverse specie di fiamme, e la grandissima differenza di temperatura, che queste fiamme presentano, *producono nessun effetto sulla posizione, nello spettro, delle righe lucide, caratteristiche dei varii metalli.*

« Si trovò, che lo stesso composto metallico, introdotto in

[1] Tradotte nel *Philosophical Magazine,* 1860, vol. XX, pag. 91-93.

[2] Gli spettri rappresentati dalla tavola sono quelli conosciuti per spettri di fiamme.

Digitized by Google

queste varie fiamme, presenta uno spettro tanto più netto, quanto più elevata è la temperatura. Nella medesima fiamma, i composti, che danno lo spettro più brillante, sono i più volatili.

« Per provare più positivamente, che ciascuno dei metalli nominati presenta sempre le stesse righe lucide, abbiamo confrontato gli spettri della tavola, con quelli che si producono, quando una scintilla elettrica scocca fra elettrodi fatti dei metalli medesimi.

« Piccoli pezzetti di sodio, potassio, litio, stronzio e calcio furono assicurati a sottili fili di platino e fusi, a due a due, in tubetti di vetro, in modo che rimanessero ad una distanza di 1 o 2 millimetri: mentre i fili di platino erano saldate per fusione nel tubo, così da attraversarne le pareti. Ciascun tubo era collocato davanti allo spettroscopio, e, per mezzo di un rocchetto di Ruhmkorff [1], si faceva passare una scintilla fra i due metalli che vi si trovavano. Lo spettro, così prodotto, si confrontava con quello di una fiamma a gas, dove si poneva il cloruro, disposta dietro il tubo. Facendo agire ad intervalli l'apparecchio ad induzione, si poteva convincersi facilmente, anche senza ricorrere a misure, che, nello spettro brillante della scintilla, figuravano esattamente al loro posto, le righe lucide dello spettro a fiamma. Oltre queste, nello spettro della scintilla, ne comparivano delle altre prodotte, alcune, da metalli estranei, presenti negli elettrodi: mentre altre provenivano dall'azoto, che si trovava in eccesso nei tubi, dopo che l'ossigeno si era combinato cogli elettrodi [2]. »

[1] Non si accenna ad una boccia, che senza dubbio era impiegata.
[2] Addurrò in seguito delle prove, per mostrare, che questa spiegazione non è, probabilmente, esatta.

Digitized by Google

Come fu già avvertito, in una nota, la tavola unita a questa comunicazione, mostra che gli spettri, a cui alludevano gli illustri chimici tedeschi, erano gli spettri degli elementi in questione, ottenuti colla fiamma.

§ 6. — *Primo lavoro di Mitscherlich.*

Questi studii progredirono nel 1862, per opera di Mitscherlich [1], e dei professori Roscoe e Clifton [2], dalle cui memorie trarrò alcuni passi, e nel 1865, per opera di Diacon [3]. Mitscherlich, nella sua memoria, dopo avere spiegati alcuni esperimenti, viene ad osservare:

« Segue da queste esperienze, che i composti metallici non danno sempre uno spettro: e, nel caso di quelli che lo danno, lo spettro non è sempre lo stesso: finalmente, che gli spettri sono diversi, secondo che appartengono al metallo, o alle sue combinazioni. Possiamo anche conchiudere, che ogni composto binario, che presenta uno spettro, ne ha uno a sè: tranne il caso, naturalmente, che la combinazione sia disfatta dalla fiamma. Finora, si conosce poco più che lo spettro dei metalli, per la facilità, colla quale la fiamma riduce le loro combinazioni.

« Si è pure ammesso, finora, che i metalli danno sempre lo stesso spettro, con qualunque sostanza siano combinati [4]. Siccome, nelle precedenti esperienze, si trovò che non è vero, diventò necessario di definire, se gli spettri or-

[1] *Ann. de Chim. et de Phys*, 1862, p. 45.

[2] *Trans. Lit and Phil. Society.* Manchester, 1862.

[3] *Annales de Chimie et de Physique*, 4 ser., vol. VI, p. 5.

[4] È un'allusione alla memoria ora citata di Kirchhoff e Bunsen.

Digitized by Google

dinarii sono dovuti ai metalli, od ai loro ossidi: poichè, secondo i miei risultati, tutti i composti, che contengono il metallo allo stato di ossido, danno lo stesso spettro. »

Come risultato delle sue indagini sul sodio, egli asserisce, che per le fiamme, che presentano la riga del sodio, lo spettro è dovuto al metallo, e non all'ossido. Quindi, conchiude, che, nel caso degli ossidi, lo spettro è quello dei metalli [1].

Asserisce poi, che le nuove righe, che allora erano state da poco tempo scoperte, ed a cui non si era trovato corrispondere alcun elemento, sono probabilmente dovute a combinazioni binarie.

§ 7. — *Clifton e Roscoe.*

Il punto più importante della memoria di Mitscherlich, cioè, che ogni combinazione binaria abbia uno spettro a sè, è sostenuto dalle conclusioni, a cui arrivarono Clifton e Roscoe, che, nella citata memoria, osservano:

« Kirchhoff, nella sua interessante memoria, sullo spettro solare, e sugli spettri degli elementi chimici, notò, nel caso del calcio, che alcune righe lucide, invisibili alla temperatura della fiamma del gas illuminante, diventavano visibili, quando il vapore incandescente raggiungeva l'elevata temperatura della scintilla elettrica. Noi abbiamo verificato questa osservazione di Kirchhoff, e l'abbiamo estesa, in quanto che abbiamo notato, in primo luogo, che un fatto analogo succede per lo stronzio e per il bario: ed, in secondo luogo,

[1] Corregge questa opinione nella successiva comunicazione, di cui si farà parola in seguito.

Digitized by Google

che, alla intensa temperatura della scintilla elettrica, non solo compariscono righe nuove, ma scompariscono totalmente le larghe striscie, caratteristiche del metallo o del composto metallico, alla meno elevata temperatura della fiamma, o di una debole scarica. Le nuove righe lucide, che sostituiscono le striscie, non coincidono generalmente con nessuna parte di esse, apparendo quando più, e quando meno, rifrangibili. Così la larga striscia dello spettro a fiamma del calcio, chiamata Ca β, è sostituita, nello spettro ad intensa scintilla, da cinque sottili righe verdi, tutto meno refrangibili d'ogni parte di essa: mentre, in luogo della rossa o aranciata Ca α, si vedono tre righe più refrangibili, rosse o aranciate. La totale scomparsa della striscia gialla, che si vede assai distintamente nello spettro del calcio, a bassa temperatura, era evidentissima. Con ripetute osservazioni, ci siamo convinti, che in simil modo, le larghe striscie, che si producono nello spettro a fiamma dei composti di bario e stronzio, specialmente Sr α, Sr β, Sr γ, Ba α, Ba β, Ba γ, Ba δ, Ba ε, Ba η, scompariscono interamente, nello spettro della forte scintilla: mentre compariscono nuove righe, non coincidenti con esse. Nel caso dello stronzio, la riga azzurra Sr δ, per effetto di quei cambiamenti di temperatura, non cambia nè di posizione, nè d'intensità: ma, conformemente a ciò che si è detto, nello spettro a temperatura più alta, compariscono quattro nuove righe violette.

« Se, nell'attuale stato, ancora incompleto, di questo interessantissimo ramo della spettroscopia, è pur lecito di esprimere un'opinione, intorno alla causa possibile della scomparsa delle striscie larghe, e della produzione di righe lucide: diremmo, che alla meno elevata temperatura della fiamma, o di una debole scarica, lo spettro, che si osserva, è pro-

Digitized by Google

dotto dalla radiazione del vapore di qualche composto, probabilmente l'ossido, di quei metalli difficilmente riducibili; mentre, alla temperatura enorme della forte scintilla, quei composti sono disfatti, e così si ottengono i veri spettri dei metalli. »

§ 8. — *Seconda memoria di Mitscherlich.*

Due anni dopo (1864), Mitscherlich, in una seconda memoria [1], estende il suo concetto, e presenta un cumulo di prove, in favore di esso. I metodi da esso impiegati furono i seguenti:

Le sostanze furono riscaldate:

1. Nella fiamma della lampada di Bunsen.
2. » » del gas illuminante, abbruciante nell'ossigeno.
3. » » dell'idrogeno abbruciante nel cloro.
4. » » di una miscela di idrogeno con bromo, o vapore di jodio, abbruciante nell'aria, o nell' ossigeno.
5. *I gas combustibili* si facevano uscire dall'apertura di mezzo del fornello a gas ossidrico, e si facevano bruciare nell'aria o nell'ossigeno.
6. *I gas non combustibili* si mescolavano con un gas combustibile, come l'ossido di carbonio o l'idrogeno.
7. *Nel caso di sostanze solide*, esse s'introducevano in un tubo, riunito, per un'estremità, con un apparecchio ad idrogeno di Rose; la sostanza veniva volatilizzata, e il gas si accendeva all'altra estremità del tubo.

[1] Riportata nel *Philosophical Magazine*, 1864, v. XXVIII, p. 169.

Digitized by Google

8. Oppure si faceva scoccare la scintilla tra *poli*, che contenevano il metallo, o il composto, *in ogni gas:* o tra
9. *Elettrodi liquidi*, dove la temperatura era più bassa che in 7.

Dalla bella serie di ricerche, eseguite con questi varii metodi, egli conchiude: *che ogni composto di primo ordine, il quale non si decompone, riscaldato ad una temperatura sufficiente perchè diventi luminoso, presenta uno spettro suo proprio, indipendente da ogni altra circostanza.*

§ 9. — *Argomenti tratti dalle righe lunghe e brevi.*

Alcuni miei esperimenti, comunicati alla *Royal Society* nel 1873, coordinati colla mia determinazione delle righe lunghe e brevi, dei vapori metallici, e colla conseguente semplificazione dello spettro, per effetto della rarefazione, definirono, secondo me, la questione, e la decisero nel senso di Mitscherlich, Roscoe, Clifton e Diacon; mentre molto si rischiararono tutte le antecedenti osservazioni, le quali, considerate come una conseguenza di quella teoria, apparvero in armonia, assai più di quello che prima non si credesse.

Questi esperimenti sono stati descritti a lungo, nel capitolo VI. Io li riassumerò qui, come un passo verso la questione, che si tratta ora di discutere:

Primo. — Notai, che lo spettro dei joduri, bromuri, ecc., osservato, sia nella fiamma, che nella scintilla debole, *nell'aria*, è, in complesso, il medesimo, che risulta dalle osservazioni di Kirchhoff e Bunsen; ma, che esso non è quello del metallo, è dimostrato dal fatto, che, *con una bassa temperatura, delle righe del metallo, compariscono soltanto e più lunghe:* il che vuol dire, che figura soltanto una pic-

Digitized by Google

cola quantità del metallo puro, come risultato di una dissociazione parziale, mentre, coll'aumentare la temperatura, e quindi la disassociazione, *compariscono, in ordine di grandezza, le altre righe del metallo.*

Secondo. — Mi convinsi, che questo è lo spettro dell'ossido; perchè, *nell'aria*, in seguito alla prima comunicazione di calore, *gli spettri e le righe metalliche appariscono press'a poco eguali:* mentre, *nell'idrogeno*, variano colla specie del composto, *e le vere righe metalliche figurano a norma della volatilità della combinazione: cosicchè soltanto le righe notevolmente più lunghe, sono visibili negli spettri dei composti meno volatili.*

In prova di questa proposizione, aggiungo un disegno (fig. 46), che rappresenta gli spettri del cloruro, del bromuro e del joduro di stronzio. Allo scopo di evitare l'introduzione dello spettro dell'ossido, e di procurarsi così la maggior distinzione possibile, fra i tre spettri, essi furono osservati nell'idrogeno, accuratamente purificato, in modo da garantire, più che si potesse, l'assenza di ogni traccia d'ossigeno. Si vede a colpo d'occhio, che i tre spettri differiscono, non solo da quelli che presentano i metalli, o i sali, nell'aria, ad elevata temperatura, ma inoltre assai distintamente fra di essi. Nell'esperienza, si procurava di mantenere più bassa che si potesse la temperatura della scintilla; e, per conseguenza, non si faceva uso di alcun condensatore; che se veniva introdotto nel circuito, la sua presenza era istantaneamente avvertita dalla comparsa di un gran numero di righe metalliche, e della scomparsa dello spettro a striscie.

Digitized by Google

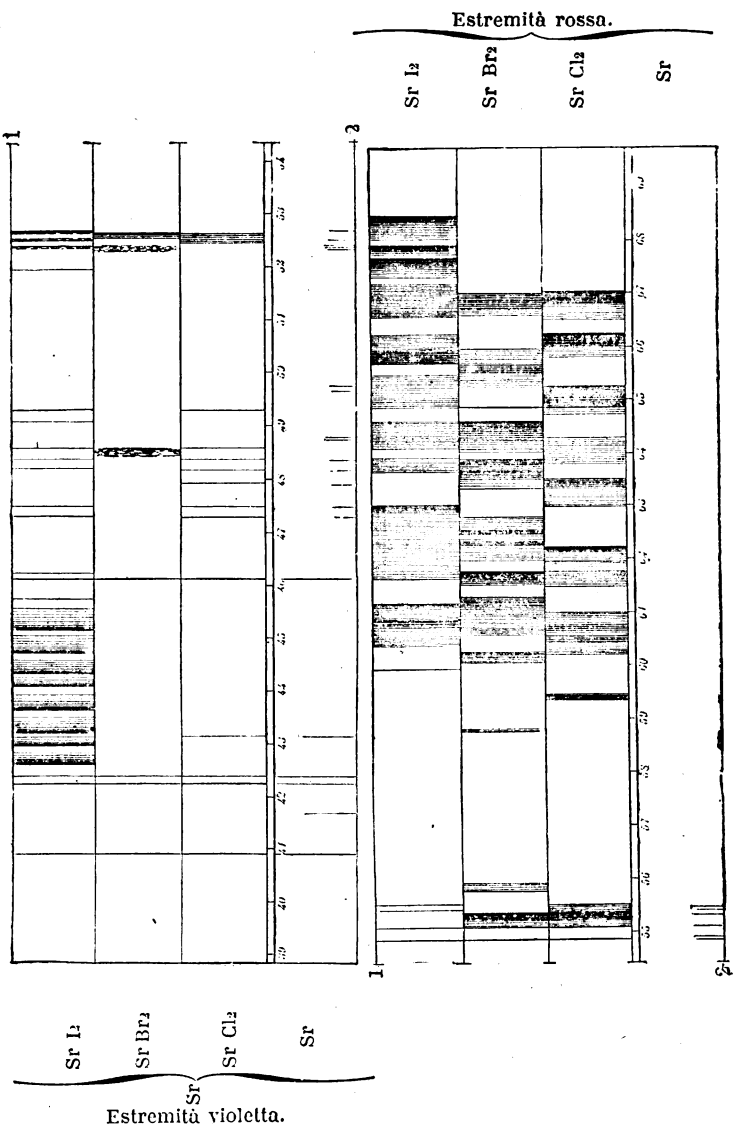


Fig. 46. Spettri del cloruro, del bromuro e del joduro di stronzio.

Digitized by Google

§ 10. — *Proposizione generale.*

Questi, ed altri fatti, da me osservati, si possono riassumere in una proposizione generale, come la seguente.

1. I corpi composti, quelli almeno che noi abbiamo considerato, hanno uno spettro loro particolare, come i semplici; ma, mentre lo spettro di questi ultimi, consiste di righe, il numero e la grossezza delle quali cresce, in qualche caso, colla condensazione molecolare, quello dei primi consta principalmente di tratti a colonnato, e di striscie, che si comportano in simil modo. In breve, le molecole dei corpi semplici, e quelle dei composti, per quanto riguarda lo spettro, risentono analoghi effetti dal raggruppamento e dalla disaggregazione; *ossia, gli spettri d'entrambi hanno le loro righe lunghe e brevi*, in quanto che le righe degli elementi sono rappresentate, nello spettro dei composti, dalle striscie e dai colonnati. E, in ciascun caso, la maggior semplicità dello spettro è collegata colla maggior separazione delle molecole, e il massimo grado di complessità (spettro continuo), col massimo raggruppamento.

2. Il calore necessario, per rendere visibile lo spettro di un composto, lo disassocia, a norma della sua volatilità. Il numero delle righe metalliche, che così apparisce, misura la disassociazione; e, coll'*aumentare* delle righe metalliche, *svaniscono* le striscie del composto [1].

[1] La proposizione precedente è confermata da questa esperienza. Un granello di cloruro stronzico fu posto fra elettrodi di alluminio, poi si fece passare la corrente indotta, senza aggiunta di boccia. Lo spettro a striscie rosse dell'ossido era assai visibile: e l'unica *riga* metallica di qualche intensità era la 4607,5. Il filo e il granello divennero

Digitized by Google

§ 11. — *Il problema della disassociazione dei così detti elementi.*

Così ho esposto, in ordine storico, come si è venuti alla conclusione, che i composti binarii hanno uno spettro loro proprio; e come questa idea fu convalidata, per non dire stabilita, da considerazioni, fondate sull'osservazione di ciò, che io ho designato col nome di righe lunghe e brevi.

Passo ora a mostrare, come si abbia ragione di credere che, osservazioni affatto simili, ed analoghi ragionamenti, possano riuscire, col tempo, a stabilire, che alcuni almeno degli elementi stessi, sono effettivamente composti.

La mia attenzione fu indirizzata a questo problema, alcuni anni fa, da due ordini di ragionamento, perfettamente distinti, dei quali uno era il seguente:

In una memoria, comunicata nel 1874 alla *Royal Society*,

tosto roventi: ed il secondo svaporò; cosicchè lo spettro scomparve. Fu poi introdotta nella corrente secondaria una boccia di 186 centimetri quadrati di superficie armata. Le righe metalliche apparvero lungo tutto lo spettro: la «struttura» (spettro dell'ossido) divenne più sbiadita, e i suoi intervalli più ampii; il granello si arroventò in breve tempo. Una boccia di 467 centimetri diede soltanto righe senza struttura: ed una di 2214 lo stesso risultato, il granello rimanendo freddo.

Adoperando il granello come elettrodo, si ottennero quasi gli stessi risultati; ma gli effetti del riscaldamento continuarono a mostrarsi, anche con boccie alquanto maggiori di quella da 362 centimetri, che, colla disposizione precedente, non ne mostrava. Quando la fessura era strettissima si osservò, che parecchie striscie dello spettro dell'ossido si risolvevano in masse di righe sottili, esattamente simili a quelle dello spettro d'assorbimento del vapore di jodio. E questa notevole somiglianza era resa ancor più mirabile dall'apparenza di un granello, simile a quello dato dal jodio.

Digitized by Google

risguardante, fra l'altre cose, l'inversione di alcune righe, nello spettro solare, io scrivevo: — [1].

« È ovvio, che si deve porre una maggiore attenzione al preciso *carattere*, non meno che alla posizione, delle righe di Fraunhofer, nella grossezza delle quali ho già osservato parecchie anomalie. Ora potrei citare più specialmente le due righe H, 3933 e 3968, appartenenti al calcio, le quali, in tutte le fotografie dello spettro solare, appariscono più grosse della più larga riga del calcio (4226,3) di questa regione (avrei potuto aggiungere, che sono di molto le più grosse, fra tutte le righe dello spettro solare); mentre, in tutte le fotografie dello spettro del calcio, quest'ultima riga apparisce più grossa della H, cosicchè è visibile nello spettro di sostanze, che contengono il calcio, in tanto piccola quantità, da non mostrare alcuna traccia della H.

« Fino a qual punto, queste, e simili, differenze, che si osservano, fra le impressioni fotografiche degli spettri metallici, e quelle dello spettro solare, possano dipendere da cause inerenti alla fotografia stessa, o dall'essere l'intensità delle vibrazioni molecolari diversa, nelle condizioni solari e nelle terrestri, sono questioni che, finora, io non sono ancora stato in grado di trattare. »

Affinchè si possa comprendere il senso dell'argomento, ho raccolto, nella fig. 47, alcuni spettri, tolti da fotografie.

Vediamo, in primo luogo, che cosa succede col cloruro, non disassociato, e col disassociato. Poi, abbiamo le righe date da un debole arco voltaico; l'unica riga a destra (4226,3) è assai più grossa delle due (3933 e 3968) poste a sinistra, e s'invertisce.

[1] *Phil. Trans*, vol. CLXIV, par. II, pag. 807.

Digitized by Google

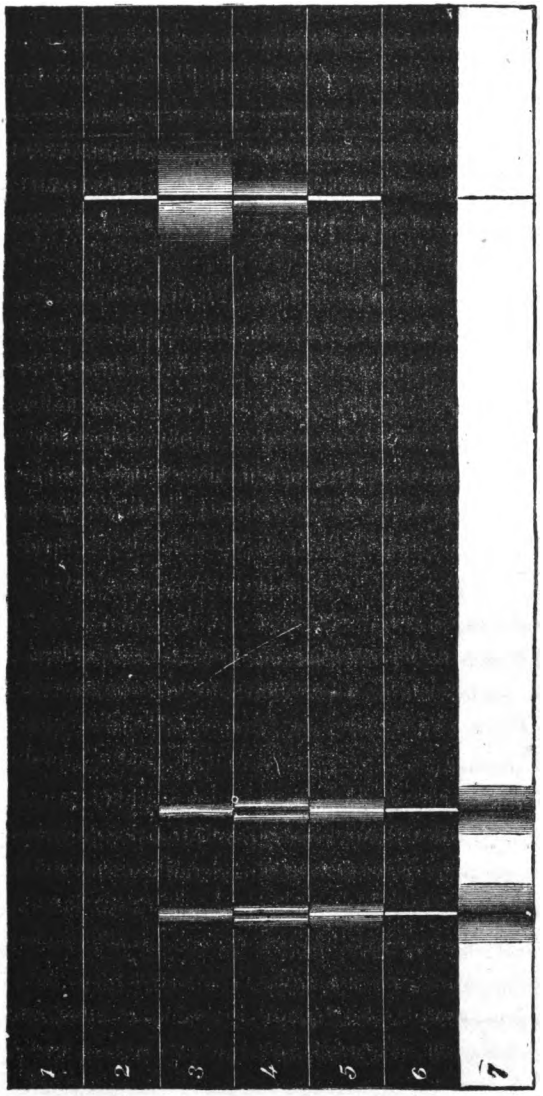


Fig. 47. L'estremità turchina dello spettro del calcio, in diverse condizioni.

1. Il calcio è combinato col cloro ($CaCl_2$). Quando la temperatura è bassa, la molecola vibra come un tutto, lo spettro si riduce all'estremità rossa, e non si vede nessuna riga del calcio. — 2. La riga del metallo, quando la molecola composta comincia a disassociarsi sotto una corrente indotta. — 3. Lo spettro del calcio metallico, nell'arco elettrico, con un piccolo numero di coppie. — 4. Lo stesso, con un maggior numero di coppie. — 5. Lo stesso, quando si adopera un rocchetto, ed una piccola boccia. — 6. Lo stesso, quando si adopera un grande rocchetto, ed una grossa boccia. — 7. Spettro d'assorbimento del vapore di calcio, nel sole.

Digitized by Google

Si ha poi il calcio, esposto ad una corrente più intensa. Si vede, che allora le tre righe sono quasi egualmente grosse, e tutte s'invertiscono.

Rammentiamo, che, nel caso di tutte le combinazioni conosciute, la costituzione a striscie propria del composto, svanisce, mentre la disassociazione procede, e comparisce lo spettro dei singoli elementi costitutivi. Però, se nella fig. 3, immaginiamo, che la riga larga rappresenti lo spettro a striscie del composto, e che le sottili rappresentino le più lunghe righe elementari, le quali compariscono, in seguito ad una parziale disassociazione, abbiamo, per ipotesi, un elemento, che si comporta come una combinazione.

Se l'ipotesi è giusta, non solo dobbiamo ottenere un'ancor più distinta preponderanza della riga semplice, coll'abbassare la temperatura, ma dobbiamo ottenere, elevandola, un'ancor più distinta preponderanza delle righe doppie.

L'anno scorso operai nel modo seguente:

Ma, prima di tutto, farò notare, che fui obbligato, ciò che d'altronde mi premeva assai di fare, ad impiegare la fotografia: — vi fui obbligato, perchè le righe più refrangibili sono poco visibili; e mi premeva di farlo, perchè tali impressioni permanenti, quando siano garantite da ogni inconveniente, sono veramente preziose.

Furono poi sempre adoperate delle correnti elettriche indotte, affinchè i risultati fotografici si potessero tutti paragonare fra loro.

Ciò premesso, vengo alle esperienze. Per avere la temperatura inferiore, usavo di un piccolo rocchetto d'induzione, e di una boccia di Leida, appena grande abbastanza, perchè l'azione fotografica avesse la necessaria intensità. Per avere la più elevata, adoperavo rocchetti più grandi, e

Digitized by Google

boccie a disposizione. La scintilla si faceva scoccare tra due elettrodi di alluminio, l'inferiore in forma di capsula, caricato del sale di calcio.

Nella figura, presento copie esatte dei risultati ottenuti. Si vede, che, colla temperatura inferiore, s'imprime sulla lastra soltanto la riga semplice (2), e, colla più elevata, vi si imprimono soltanto le due più refrangibili (6).

Ciò prova, che, dall'una all'altra esperienza, l'intensità delle vibrazioni era completamente cambiata.

Quando questo risultato fu comunicato alla *Royal Society*, come si rileverà dalla nota [1], il prof. Stokes, mentre ac-

[1] La nota, e la conseguente corrispondenza, a cui si accenna, nel testo, sono le seguenti:

Nota preliminare sulla natura composta degli spettri a righe dei corpi elementari. Per J. N. Lockyer. F. R. S. (Proc. Royal Society. N. 163, 1876).

In una precedente comunicazione alla *Royal Society* (*Proc.* vol. XXII, pag. 330, 1874) ho accennato brevemente alla possibilità, che i ben noti spettri a righe dei corpi elementari, potessero risultare dalla vibrazione di molecole dissimili. Mi avevano indotto a fare questa osservazione, le differenze, che presentano gli spettri di certi elementi, quando si osservano nello spettro solare, e quando si ottengono, cogli ordinarii processi, in laboratorio.

Ora, ho chiare prove, che il gruppo molecolare del calcio, che, mediante un piccolo rocchetto d'induzione e una piccola boccia, presenta uno spettro, la cui riga principale è nell'azzurro, è quasi diviso nel sole, e completamente diviso, nella scarica di un grosso rocchetto con una grossa boccia, in gruppi, di un'altra, o d'altre specie, le cui righe sono nel violetto.

Dico « altra » od « altre », poichè non sono ancora riuscito a decidere, se quest'ultime righe provengono dalla stessa molecola, o da molecole differenti; e, forse, per risolvere tal questione, dovremo aspettare le fotografie degli spettri delle stelle più brillanti.

Questo risultato ci permette di determinare, con notevole accura-

Digitized by Google

cettava i nuovi esperimenti, come una prova conclusiva dell' enorme temperatura del sole, non si sentiva disposto a riconoscere perfino, che un elemento si era realmente dis-

tezza, quali sono le condizioni elettriche, necessarie, per produrre un grado di disassociazione, pari a quello, che si trova attualmente nel sole.

Chiedo il permesso di aggiungere la seguente lettera del prof. Stokes, e la mia risposta.

« Marzo 3, 1876.

« Mio caro Lockyer. — Voi forse aggradirete, che io riassuma, per iscritto, le osservazioni, che trovai di fare, la scorsa notte, intorno alle prove della disassociazione del calcio.

« Quando un solido, come un filo di platino, attraversato da una corrente elettrica, diventa incandescente, non solo aumenta la quantità assoluta della radiazione di ogni speciale rifrangibilità, ma si modifica la proporzione delle diverse radiazioni, crescendo, colla temperatura, il rapporto delle radiazioni di maggiore rifrangibilità, a quelle di rifrangibilità minore. Sarebbe conforme all' analogia, il supporre, che, di regola, succedesse lo stesso con una superficie incandescente, sebbene, in questo caso, lo spettro fosse discontinuo, invece che continuo. Così, se A, B, C, D, E designano cinque righe lucide, principali, di crescente rifrangibilità, proprie dello spettro di un vapore, potrebbe ben darsi, che, ad una temperatura relativamente bassa, A fosse la più brillante e la più persistente; mentre, ad una temperatura più elevata, fossero tutte più lucide di prima, ma cambiasse lo splendore relativo, onde la riga più brillante e più persistente fosse la C: e, ad una temperatura ancor più elevata, fosse, invece, la E. Ora, se, nei singoli stadii, si potesse ridurre lo spettro alla sola riga più persistente, mentre tutte le altre fossero scomparse, la riga superstite sarebbe A, alla temperatura inferiore, C, alla media, E, alla più elevata. Ed allora, nel caso che il vapore si manifestasse, non colla radiazione, ma coll'assorbimento, in conseguenza della nota relazione fra l'assorbimento e l'emissione, la riga oscura, che fornisce l'indizio più sensibile della

Digitized by Google

associato. Egli addusse le sue ragioni, ed io vi risposi. M spiace dover dire, che, finora, i mezzi pratici di cui dispongo, non mi hanno permesso di discutere la questione nel modo

presenza della sostanza, sarebbe A ad una temperatura, C ad un'altra, E ad una terza. Epperò, mentre convengo, che i fatti da voi notati dimostrano l'elevata temperatura del sole, non posso considerarli, come una prova *conclusiva* della disassociazione della molecola del calcio.

«Vostro sincero amico

«G. G. STOKES.»

«Marzo 5, 1876.

«CARO PROF. STOCKES. — I vostri appunti mi giunsero inaspettati, poichè non fu l'ordinario modo di comportarsi del calcio, ma un modo anomalo, che m'indusse a questo studio.

«D è più oscura di tutte le altre righe di Na, ed H, nella cromosfera, all'altezza di Ca, è rossa, mentre nell'atmosfera della corona, è verde; così, l'aumento della temperatura, sviluppa la riga *meno* rifrangibile, e non la più rifrangibile [1].

«Pertanto, non vi sono meno grato delle vostre osservazioni, e tosto che possa disporre di un rocchetto più potente, vedrò di approfondire la questione, più completamente che potrò.

«Siete voi ben sicuro, che la struttura molecolare del filo di platino si mantiene costante, mentre si comporta, come voi dite?

«Vi chiedo il permesso di pubblicare la vostra lettera, e questa mia negli Atti. Essa varrà, se ne siete contento, a rendere più utile la mia nota.

«Credetemi sempre vostro

«J. NORMAN LOCKYER.»

[1] Rimane tuttavia la questione: Qual'è, alle diverse temperature, la riga *più persistente*, cioè, l'ultima a scomparire, quando si diminuisce continuamente la quantità della sostanza? ed infatti, lo stesso signor Lockyer, ha dimostrato che non è punto necessario, che la riga, che apparisce come principale, quando la quantità della sostanza è sufficiente per presentarne parecchie, sia anche la più persistente.

G. G. S.

Digitized by Google

che proponevo — e cioè, prendendo fotografie delle stelle più brillanti, e, per conseguenza, più calde. Ma il signor Huggins ne ha ottenuto, e, sebbene io non le abbia vedute, egli asserì, in un'adunanza della *Physical Society*, rispondendo ad una questione da me posta, che soltanto una delle righe H dello spettro solare, appariva nello spettro di α della Lira. Se altri lavori confermeranno questi risultati, io riguarderò certamente questa questione come risolta: e risolta, nel senso indicato dalle precedenti esperienze.

Forse non sarà superfluo l'esporre le ragioni, che mi hanno indotto a ricercare ulteriori prove negli astri.

È abbastanza chiaro, che se i così detti elementi, o, più propriamente, gli estremi loro atomi — quelli che ci danno lo spettro a righe — sono realmente composti: queste combinazioni devono essersi costituite, ad elevatissime temperature. Si vede facilmente, che non vi può essere un limite superiore alla temperatura: epperò nessun limite superiore alle condizioni, in cui sono possibili tali combinazioni. Gli atomi, che hanno il potere di combinarsi insieme, a quei gradi trascendenti di calore, non possono esistere come tali, o, piuttosto, esistono combinati con atomi simili, a tutte le temperature più basse. Quindi, coll'abbassare la temperatura, l'associazione si ridurrà ad una combinazione di molecole più complesse; e, per quanto la temperatura si aumenti, non vi potrà essere un termine alla disassociazione.

Questo è il primo punto.

Il secondo è questo:

Si può certo ammettere, che il calcio, una volta formato, sia poi un elemento o no, costituisce un ente di-

Digitized by Google

stinto; e, per conseguenza, se ci limitiamo ad esperimentare sopra di esso, non potremo mai decidere, ancor che, in avvenire, se ne accertasse la disassociazione, se la temperatura produce una forma più semplice, una condizione più atomica, della medesima cosa, oppure se la sostanza si decompone effettivamente in X+Y; e ciò, perchè, nè X nè Y, potranno mai variare, di proporzione.

Ma, se il calcio è il prodotto di una condizione corrispondente ad una temperatura relativamente inferiore, allora, nelle stelle abbastanza calde, perchè i suoi costituenti vi si possano trovare allo stato di libertà, possiamo aspettarci, che variino le proporzioni dei costituenti medesimi. Potrà darsi, che, in una stella, vi sia più di X, e, in un'altra, più di Y; nel qual caso, le righe H e K varierannno di grossezza; e, come estremo limite della variazione, si avrà, o soltanto H, rappresentante, in una stella, il corpo X: oppure soltanto K, rappresentante, in un'altra, il corpo Y. Fra questi due estremi, potremo avere dei casi in cui, sebbene compariscano così H che K, pure, o l'una o l'altra, presentino una maggiore grossezza.

Ora, secondo la mia interpretazione della fotografia del signor Huggins, α della Lira fornisce un caso estremo. Ciò, tuttavia, vuol essere verificato. Ad ogni modo, mi pare un fatto di grande interesse, che l'estrema importanza di anteriori ed accurati lavori, sia stata così largamente dimostrata da proprio la prima fotografia di una stella, mediante un confronto collo spettro solare — giusta ricompensa alla ben conosciuta dottrina del dott. Huggins.

È di grande soddisfazione per me, che la Società Olandese delle Scienze, abbia cercato di suscitare l'interesse, per questa questione, proponendo un premio, per la conti-

Digitized by Google

nuazione delle indagini. Aggiungerò, come un suggerimento a chi si sentisse inclinato ad assumere l'impresa, che, nello spettro del litio e del magnesio, si presentano delle anomalie, le quali m' inducono a supporre, che questi metalli possano compensare un' investigazione di questo genere.

Digitized by Google

CAPITOLO VIII.

TENTATIVO DI UN'ANALISI SPETTRALE QUANTITATIVA.

§ 1. — *Introduzione.*

Così in Francia, come in Germania, si sono fatti parecchi tentativi, per applicare lo spettroscopio alla determinazione quantitativa delle sostanze; e, sebbene i risultati, finora ottenuti, non siano tali, da rendere generale l'uso dei relativi metodi, non v'ha dubbio, che, col tempo, la spettroscopia porgerà tale sussidio alle scienze e alle industrie.

Per riguardo ai vantaggi pratici, che si possono trarre da una scienza, è certo, che quanto più pura è la scienza, è tanto più probabile, che siano numerose le sue pratiche applicazioni. Nel caso dell'applicazione delle idee teoriche, risguardanti lo spettro, alle arti, non solo si ha una ricca promessa relativa alle arti medesime, ma, ciò che è molto più prezioso per lo scienziato, si ha una promessa di ricchi risultati, nel campo della scienza. Poichè, la spettroscopia, quando diventasse il lavoro giornaliero del fonditore, del minatore, dell'operaio, presenterebbe una moltitudine di belle verità scientifiche, attinenti a tutte le parti dello spettro, che servono, per quelle pratiche applicazioni dell'ottica.

Digitized by Google

Per quanto mi consta, se questa questione non è sorta, come puro oggetto di indagini astratte, è ben difficile di assegnarne l'origine. Determinazioni quantitative non entravano affatto, nei lavori, e nelle idee, di Kirchhoff e Bunsen, e, stando ai loro risultati, non si sarebbe mai trattato, che di analisi qualitativa.

Credo, che, primo a proporre un uso quantitativo dello spettroscopio, fu l'illustre Janssen; gli seguì Vierdort.

Il metodo, da me studiato, differisce fondamentalmente dai loro; e, siccome i passi, che vi conducono, non possono essere affatto privi d'interesse, come esempio del modo in cui un'applicazione pratica può svilupparsi da indagini teoriche, li esporrò qui, più brevemente che possa: sebbene vi si accenni qua e là, in diverse parti, del libro.

La legge generale, che i due celebri fisici tedeschi, Kirchhoff e Bunsen, dedussero dalle loro prime osservazioni spettroscopiche — osservazioni collegate colle conclusioni di Stokes, che datano dal 1852 al più — costituì un immenso progresso: ed un sussulto corse, per tutto il mondo scientifico, quando venne annunciata.

Essi mostrarono, che, se dai solidi e dai liquidi si otteneva sempre lo stesso spettro, per modo che non si poteva valersi dello spettroscopio, per l'analisi della materia in quelle condizioni: quando si prendevano gli elementi allo stato di gas, si trovava, che diverse sostanze non davano mai le medesime righe. Qui stava la potenza: qui un nuovo sistema di analisi *qualitativa*. L'opera fu molto estesa di poi, da ricerche fatte in Inghilterra. Il dott. Frankland, (notiamo, che dedusse questa bella considerazione teorica da un' indagine, che aveva per scopo l' illuminazione di Londra), dimostrò, che, nel caso dell'idrogeno, il quale, come è noto, mantiene

Digitized by Google

lo stato di gas, a tutte le temperature conosciute [1], sebbene vi siano le prove più evidenti, che le sue condizioni molecolari non sono sempre le stesse, la legge di Kirchhoff non si verificava più, se il gas si prendeva a forte pressione. Egli mostrò, infatti, che, alla pressione di dieci a venti atmosfere, lo spettro dell'idrogeno apparisce continuo, come quello del carbone ardente, o di un altro corpo incandescente qualsiasi, allo stato solido o liquido.

Vi era dunque un'apparente anomalia. Ora, quando si sentono gli scienziati discorrere di anomalie, nove volte su dieci, egli è perchè ignorano la legge. Ed io spero di riuscire a provare, che in ciò non vi era punto un'anomalia, ma, invece, che si otteneva da questo fatto una legge ancor più generale. E quale? Prima di definirla, consideriamo, per un istante, un certo altro lavoro dei signori Plücker e Hittorff, pure sull'idrogeno, la conclusione del quale era, che, in certe condizioni — la pressione era assai inferiore a quelle adoperate da Frankland — le ben note righe, poste, l'una nel rosso, e l'altra nel verde (ve ne sono altre, ma non c'importa di occuparcene) si vedevano qualche volta molto grosse, e qualche volta molto sottili. Plücker ed Hittorff non seppero trovare la causa di questa variazione: ma, che essa esisteva, era assolutamente fuor di dubbio.

Però, riunendo insieme la legge di Kirchhoff, il risultato di Frankland, e quello di Plücker ed Hittorff, si ebbe, press'a poco, questo orizzonte. Secondo Kirchhoff, i solidi e i liquidi danno uno spettro continuo; i gas lo danno discontinuo, cioè presentano delle righe lucide. — Poi comparve il

[1] È noto, che la condensazione dell'idrogeno fu ottenuta dal signor Cailletet, sulla fine dello scorso anno.

Digitized by Google

lavoro di Frankland: donde risultò, che, ad elevatissima pressione, l'idrogeno non presenta più righe brillanti, le quali si perdono tutte in uno spettro continuo. — Finalmente, vennero Plücker ed Hittorff; e ci appresero, che, per una causa, ancora indeterminata — può essere la pressione, o la temperatura — le righe dell'idrogeno, osservate a pressioni molto inferiori a quelle adoperate da Frankland, variano di grossezza.

Tale fu il primo stadio dei lavori da laboratorio. — Verso questo tempo, si stava osservando il sole, per mezzo dello spettroscopio, con gran diligenza. Nel 1868, si adoperò, per la prima volta, un nuovo metodo, con cui si potè osservare i diversi gas, che lo avviluppano: e, fra i quali, il più perfetto gas, l'idrogeno, predomina enormemente. Si ebbe, così, l'opportunità, di studiare l'idrogeno del sole.

La riga rossa del suo spettro è perfettamente rettilinea: ma non così l'altra, posta nel verde. Questa si allarga, quanto più si va verso il sole, così che presenta la forma di una tromba.

Tosto che si osservò questo fatto, si trattò di metterlo d'accordo col risultato di Plücker ed Hittorff. Niente di più facile.

Tutti sanno, che, se si ascende sopra un monte, si trova una pressione atmosferica sempre minore. Analogamente, molto al di sopra del sole, la pressione dell'idrogeno, che, in conclusione, rappresenta lassù la nostra aria atmosferica, sarà molto inferiore, che alla superficie dell'astro; e non si ha da immaginare altro, che la pressione dell'idrogeno alla superficie è molto più elevata, che non a grande altezza. Colleghiamo questa considerazione coi lavori di Frankland, e di Plücker ed Hittorff.

Digitized by Google

Il primo ci apprende, che, coll'accrescere la pressione, si ottiene uno spettro continuo; nel secondo vediamo un avviamento ad esso; — e il dubbio, che proveniva dalla indeterminazione, per così dire, di quel lavoro, è risolto dall'osservazione solare, in favore dell'ipotesi, che, nello spettro dell'idrogeno, le righe si ingrossano, coll'aumentare la pressione, finchè, a venti atmosfere, si ottiene uno spettro continuo.

Ho altrove richiamato l'attenzione, sopra gli spettri del magnesio e della cromosfera solare, presentati nella tavola II. Notiamo, che, quando si osserva, colle risorse del nuovo metodo, lo spettro del vapore di magnesio, che, come l'idrogeno, circonda il sole: si trova, che le diverse righe del metallo non raggiungono tutte la stessa altezza. Si hanno tre righe: due lunghissime, ed una breve. Come possiamo spiegare questo fatto? Come coordinare queste osservazioni, con quelle, che si sono fatte, sullo spettro dell'idrogeno?

A questo modo. Nell'idrogeno, aumentando la pressione, le righe si allargano. Nel magnesio, un aumento di pressione, non solo le allarga, ma ne accresce il numero. Questi sono i due fatti, dedotti dall'osservazione della cromosfera solare, su cui si fonda il mio tentativo di analisi spettrale quantitativa. Ma, certo, non bisognava accontentarsi di quest'unica interpretazione di un fenomeno, presentato dall'idrogeno, e dal magnesio del sole.

Però, si procedette ad esperienze da laboratorio; e il dottor Frankland ed io trovammo, che ve ne erano alcune, semplicissime, che ci potevano mettere in grado di vedere, se l'ipotesi era giusta o falsa. Nel caso dell'idrogeno, non si aveva altro da fare, ed altro non si fece, che prendere

Digitized by Google

un tubo, riunirlo con una macchina pneumatica, riempirlo d'idrogeno, quindi cavare il gas, e vedere, se, col diminuirne la tensione, le righe diventavano più sottili. — Diventarono più sottili.

Un'altra serie di esperienze consisteva nel prendere un tubo simile al primo, ma, invece di estrarne l'idrogeno, di condensarvelo, mediante una pompa, finchè si arrivava ad una forte tensione; nel qual caso, le righe dovevano allargarsi, finchè si ottenesse uno spettro continuo. — Questo pure avvenne.

Ma, come trattare il vapore di magnesio? Anche questa questione si poteva risolvere con un semplice esperimento. Prendendo un tubo, come nelle esperienze precedenti, munito di elettrodi di magnesio, e introdotti questi in un'atmosfera, la cui tensione si andasse diminuendo: se è vero che lo spettro del magnesio, col diminuire la pressione, diventa sempre più semplice: si doveva trovare, che le righe del magnesio, quali si vedono ad un'atmosfera, scemano distintamente o di grossezza, o di numero, o d'entrambi, quando si riduce la pressione, per esempio, ad un millimetro, o a dieci millimetri. Questo si verificò, e l'ipotesi fu provata.

Dopo queste prime esperienze, si accumularono numerosissime serie di osservazioni, tutte allo scopo di provare, che ciò che si deve tener d'occhio, in queste indagini, è la diminuzione di pressione.

Ora, che cosa significa diminuire la pressione? In ogni camera vi è dell'aria atmosferica. La quale, che cos'è? Ammettiamo, che essa consista di un'aggregazione di molecole. Allora, supposto, che, in una camera, si diminuisca la pressione, che cosa facciamo? — Separiamo le molecole. E, se l'aumentiamo, cresciamo il numero dei loro incontri.

Digitized by Google

Le esperienze accennate provano, che, in quest'ultimo caso, lo spettro diventa più complicato, le righe s'ingrossano, e crescono di numero; che, se le molecole si separano, le righe si assottigliano, e lo spettro diventa più semplice.

Ma si può avanzarsi molto di più: poichè si può spingersi fino a dire: Se fosse fisicamente possibile di pigliare un solo atomo di una sostanza chimica qualsivoglia, e di osservare, per mezzo del suo spettro, le sue vibrazioni, quando fosse in uno stato infinitamente poco diverso dalla quiete, non se ne otterrebbe che una sola riga. Chiamiamo questa la « riga fondamentale » di quell'atomo speciale, sia poi che vogliamo chiamarlo idrogeno, sodio, bario, cromo, calcio, od altro. Ora, col separare gli atomi di una particolare sostanza chimica, otteniamo una sola riga.

Che cosa facciamo col riavvicinare gli atomi? Ingrossiamo le righe, o le moltiplichiamo. Così, possiamo accrescere la complessità dello spettro in due modi: nel caso di certi corpi, ingrossando le righe, nel caso di altri — ed è una distinzione importante — coll'accrescerne il numero. Quando le *molecole* sono strette insieme, lo spettro raggiunge la sua massima complicazione; mentre, se passiamo all'estremo opposto, troviamo una sola riga, per ogni sostanza chimica esperimentata.

Se, dunque, si trova una scala continua, da un'unica riga, alla massima complicazione, corrispondente alla progressiva separazione degli atomi e delle molecole, si è fatto un grande progresso. Fra la condizione del ferro, che ci dà una sola riga, a quella che, come sappiamo, e abbiamo disegnato, ce ne dà 460, lo spettro ci mostra l'esistenza di stadii, a cui corrisponde qualcosa d'intermedio ad una riga e a 460. Questa è analisi quantitativa.

Digitized by Google

Il frontispizio è una riproduzione di una fotografia, che vale a mostrarci, perchè questi studii furono incominciati, considerando lo spettro solare, sebbene siano poi usciti da questo campo, ed ora si riferiscano a moltissime cose, che, collo spettro solare, non hanno sensibilmente alcun legame. Da quella tavola si rileva, che, nello spettro solare, vi è, per così dire, un'immensa *individualità* di righe. Esse non sono tutte egualmente grosse. Le due grosse, nel mezzo, sono dovute all'assorbimento del vapore di calcio, che si trova nell'atmosfera del sole; le intermedie, e quelle poste a destra ed a sinistra, si devono invece, per quanto si sa, all'assorbimento del cobalto, del nichelio, dell'alluminio, e di altri metalli solari.

Alcune di esse sono estremamente sottili. Ho ricordato che, col passare dall'atomo indipendente, all'atomo soggetto quasi ad un'azione riflessa, le righe si moltiplicano e si ingrossano.

Ora, quando Kirchhoff e Bunsen enunciarono la loro legge generale, che i solidi e i liquidi presentano uno spettro continuo, e i gas discontinuo, le loro indagini avevano di mira lo spettro solare; e, nella stessa memoria, essi mostravano, che, moltissime sostanze, fra le più famigliari — l'idrogeno, il sodio, il magnesio, il ferro, il nichelio, il cobalto, il cromo, e simili — si trovavano nel sole. Ma essi facevano anche notare, che, quando si cercava, se vi era una perfetta corrispondenza, fra le righe lucide dei vapori di questi diversi corpi, e le righe oscure dello spettro solare: si presentava questo fatto curioso, che non tutte le righe erano invertite.

Per esempio, il ferro dà 460 righe lucide. E nel sole si trovano circa 455 righe oscure, che vi corrispondono; mentre cinque, non hanno le loro corrispondenti. Fra le ri-

Digitized by Google

ghe lucide dell'alluminio, due soltanto appariscono invertite nel sole. Che significa ciò? Kirchhoff ammetteva, che ciò proveniva semplicemente dal fatto, che s'invertivano soltanto le righe più brillanti. Che, se certe righe apparivano sbiadite, esse, probabilmente, per qualche ignota ragione, non si sarebbero osservate nello spettro solare.

Ångström riprese, in seguito, la questione; accrebbe alquanto il numero dei metalli riscontrati nel sole; ma non seppe spiegare, in qual modo, nel caso dell'alluminio, soltanto due righe, sopra una trentina, fossero invertite, mentre tutte le altre non lasciavano assolutamente alcuna traccia, nello spettro solare. Ora, fu notato, che in quella parte speciale dello spettro solare, dove si presentano le righe del magnesio, appariscono tre righe oscure, dovute all'assorbimento di quel vapore; che se il vapore medesimo si produce in laboratorio, si osserva che le due righe meno refrangibili si estendono al di là della sorgente che lo svolge, molto più che non la terza, più sbiadita e più refrangibile. Segue da ciò, che, se nella cromosfera del sole diminuisse la pressione, la riga oscura d'assorbimento, che corrisponde a quell'ultima riga del magnesio, non comparirebbe più affatto nello spettro solare. E questa è la spiegazione del fatto, che, nel caso di certe sostanze, riscontrate nel sole, non si ottengono più di dieci per cento righe.

Mi sono esteso, sopra questo ordine di fatti, in un altro capitolo; e siccome si è già trattato del come ottenere le righe lunghe e brevi, posso immediatamente procedere ad indicare, come ne discendono i risultati quantitativi. Se in questa ipotesi vi è qualcosa di vero, e, se si può legittimamente conchiudere, che nel sole vi è una grande quantità di calcio, perchè le righe di quel metallo sono grosse, e

Digitized by Google

non molto alluminio, perchè tutte le righe dell'alluminio non sono invertite, e quelle che non sono invertite sono le più sottili: si avranno immediatamente queste conseguenze. Se si prenderà una sostanza, come lo stronzio, se ne osserverà lo spettro, e si noteranno le righe, che si ottengono, così, dal vapore denso del metallo puro; poi, precisamente nelle stesse condizioni, invece del metallo, si adopererà una combinazione chimica, per esempio, il cloruro o il joduro: in questo caso, non si dovranno ottenere tante linee, quante se ne ottenevano nel primo. Si è fatto l'esperimento. E si è trovato vero, che, in condizioni esattamente simili, da nessun sale di stronzio si ottengono tante righe, quante dal metallo puro; fatto, che si verifica per ogni altro corpo.

Ora, quali righe dobbiamo avere? Le lunghe o le brevi? Le lunghe; perchè le brevi sono date soltanto dal vapore denso. E ciò è tanto vero, che possiamo quasi grossolanamente predire lo spettro dei varii sali di un metallo, conoscendo il peso atomico del metalloide chimicamente combinato con esso, purchè, s'intende, i diversi composti siano egualmente volatili. Questo è un gradino. Una combinazione chimica ci dà lo spettro, che si ottiene dal metallo puro, in seguito ad una rarefazione.

In una combinazione chimica non vi è magia. Perchè non presenterà fatti analoghi una mescolanza meccanica?

§ 2. — *Primi esperimenti.*

Per decidere questo punto, si fece una serie speciale di esperienze sullo spettro di metalli meccanicamente mescolati: — leghe preparate *ad hoc*.

Un esame superficiale degli spettri di alcune amalgame

Digitized by Google

di stagno e di magnesio non tardò a provare, che i fatti erano conformi alle previsioni.

Per esempio, mi riuscì di cominciare con una lega, che dava soltanto la più lunga, o le più lunghe, righe del minor costituente, e d'introdurre, in ordine di grandezza, le altre, coll'accrescere la quantità di esso. Questa reazione è così delicata, che io rilevai da essa una cosa, a cui prima non avevo posto mente: cioè, che la riga meno refrangibile di *b*, la triplice linea del magnesio, è alquanto più lunga delle sue più refrangibili compagne; poichè lo spettro del magnesio si riduceva a questa unica riga, in una lega, dove si erano prese speciali precauzioni, per introdurre la minima quantità possibile di questo metallo.

Seguiva da ciò, che l'analisi spettrale non solo è infinitamente più delicata, di quello che si fosse fino allora supposto, che potesse essere, nel caso di sostanze, dove la differenza fra le righe lunghe e le brevi è minima: ma che, col tempo, essa poteva diventare quantitativa. Poichè, se mescolando diversi corpi, si estinguono le righe più brevi degli spettri metallici, pare presumibile, che una serie di carte, accuratamente disegnate, degli spettri di leghe, le proporzioni dei cui costituenti siano conosciute, ci fornirà il mezzo di determinare (a un dipresso, s'intende), colla semplice ispezione, la quantità del metallo considerato, presente in una lega, la cui composizione, per riguardo a quel metallo, è ignota.

Dopo questi esperimenti preliminari sulle amalgame, si prepararono delle miscele, per altre esperienze, come le seguenti.

Digitized by Google

§ 3. — *Seconda serie d'esperimenti.*

Una certa quantità del maggior costituente, in generale, da cinque a dieci grammi, si pesava accuratamente, valutando fino alla frazione di milligrammo; e la quantità da esaminarsi del costituente minore era calcolata in modo da dare, combinata che fosse, una miscela di una certa composizione centesimale, a peso: (essendo questa più facile ad ottenersi, che non una composizione centesimale, a volume).

Le quantità generalmente scelte erano 10, 5, 1 e 0,1 per cento.

In pochi casi, trattandosi di metalli, che si sapevano dare reazioni spettrali delicatissime, si preparò una miscela di 0,01 per cento.

Il costituente principale, dopo pesato, s'introduceva in un piccolo crugiuolo (il vaso di una comune pipa di terra). Nella bocca del crugiuolo si faceva passare un tubo, che trasportava una corrente di idrogeno, puro e secco; e si riscaldava il metallo, mediante un fornello di Bunsen.

Tosto che esso era fuso, mantenendo sempre la corrente d'idrogeno, si aggiungeva in frammenti il metallo, di cui si voleva esaminare lo spettro; e, se era necessario, si elevava il calore, finchè esso pure si fondesse. Il che avvenuto, si agitava la miscela fusa, scuotendo rapidamente il crugiuolo, o facendo gorgogliare l'idrogeno, attraverso la massa liquida.

Quando si supponeva, che la mescolanza fosse completa, si versava fuori la massa. E poichè si era solidificata, se ne tagliava fuori una punta, e la si collocava nello spinterometro, il cui polo opposto era fatto del metallo, che co-

Digitized by Google

stituiva il fondamento della miscela. Così, per una lega di 90 parti di stagno, e dieci di cadmio, il polo opposto era di stagno: per una di 90 parti di piombo, e dieci di zinco, era di piombo: e così via.

È importante, che ogni elettrodo, fatto di una determinata lega, abbia il suo opposto, fatto dal metallo puro, che vi entra in maggior quantità; così, quando si osserva lo spettro, le righe lunghe e brevi, di questo costituente, appariscono disposte dal margine superiore alla base dello spettro; mentre le righe del costituente minore si vedono *soltanto* al margine superiore, o alla base, a norma del posto occupato dalla lega, nello spinterometro.

Si fecero osservazioni dello spettro d'ogni campione, e i risultati si tradussero in carte, nel seguente modo: — Prima, si osservava semplicemente lo spettro del costituente minore, e le righe si tracciavano, ordinariamente, secondo la carta di Thalén.

Poi si introduceva nello spinterometro la miscela, contenente la maggior proporzione della sostanza da studiare; il polo opposto essendo fatto dalla sostanza con cui era mescolata: e si osservava lo spettro. E questo processo si ripeteva, finchè si veniva alla lega, che conteneva la minima quantità.

Le serie così esaminate, erano come le seguenti:

Sn + Cd	Cd = 10, 5, 1,	0,15 per cento
Sb + Zn	Zn = 10, 5, 1,	0,1 »
Sb + Mg	Mg = 10, 1, 0,1,	0,01 »

Giova notare, che furono adoperate queste sostanze, perchè, essendo il loro punto di fusione non molto elevato, potevo comporre agevolmente la miscela, coi mezzi a mia disposizione.

Digitized by Google

Le carte mostrarono, che le righe scomparivano, col diminuire la quantità del minor costituente. Sebbene avessimo qui i germi dell'analisi spettrale quantitativa, tutto si riduceva ai germi, poichè, in conseguenza di parecchi *punti critici* [1], e di grandi variazioni, provenienti da cause estranee, i risultati ottenuti non erano abbastanza rigorosi e costanti, per poter fornire un'applicazione pratica.

Tuttavia, ulteriori ricerche non tardarono a provarmi, che questo metodo di eliminare le righe dallo spettro, non era l'unico vantaggio, che si potesse ricavare da quelle esperienze.

§ 4. — *Fenomeni addizionali.*

Comunicata la seconda memoria alla *Royal Society*, incominciai una serie d'osservazioni, allo scopo di studiare non solo la scomparsa delle righe, ma altri cambiamenti generali, che potessero avvenire; epperò munii il cannocchiale dello spettroscopio di un oculare a micrometro. Così riuscii a notare i seguenti fenomeni addizionali, dove ogni cambiamento, presentato dalle righe superstiti, corrisponde ad un cambiamento di composizione.

I. La lunghezza delle righe variava, colla proporzione del relativo elemento.

II. Nello stesso modo, variavano sensibilmente la grossezza, lo splendore, o l'una e l'altra qualità, di alcune righe.

III. Nei casi in cui si valutava la lucidità di una riga, per un lungo ordine di composizioni centesimali, confron-

[1] *Philosophical Transactions*, 1873, p. 261.

Digitized by Google

tandola con una riga aerea: questa si vedeva diventare sempre più sbiadita, e finalmente scomparire, quando cresceva lo splendore della riga, paragonata con essa.

IV. Nei casi in cui si valutava la lucidità o la grossezza di una riga di un elemento, confrontandola colla riga adiacente dell'altro costituente della lega, i punti di eguale luminosità si vedevano salire e discendere. (Usai questo metodo, allo scopo di evitare l'incertezza, proveniente dalla misura micrometrica dell'estremità delle righe, dovuta alle loro variazioni di lunghezza, in conseguenza della non uniforme azione della scintilla).

V. In alcuni casi, in cui la proporzione centesimale di un costituente era così piccola, che non si vedeva alcuna delle sue righe, pure sembrava che una certa influenza si esercitasse sulle righe dell'altro, confrontandole con quelle dello spettro del medesimo vapore, al polo opposto.

VI. Si osservavano dei cambiamenti nella lunghezza relativa di due righe, rispettivamente appartenenti ai due metalli della lega.

Queste conclusioni furono dedotte da osservazioni, da me fatte sulle leghe, nel modo indicato, nella mia seconda memoria; e mi convinsi dell'importanza di osservare delle serie, in cui la proporzione centesimale non variasse tanto, da un campione all'altro, o di cui si fossero fatti rigorosi assaggi.

Però, pregai il signor C. Freemantle, il *Deputy Master* della zecca, di permettermi di adoperare i campioni di leghe di oro e rame, e d'argento e rame, preparate per il conio; poichè in essi avevo precisamente ciò che cercavo — cioè, piccole variazioni di composizione, e indubitabile esattezza di determinazione. Quell'egregio signore, colla

Digitized by Google

maggior sollecitudine, e la più squisita cortesia, si affrettò a soddisfare il mio desiderio.

§ 5. — *Esperimenti con grandi variazioni.*

Tuttavia, prima di considerare il caso delle leghe da zecca, converrà di descrivere brevemente alcuni esperimenti, sopra leghe, in cui la proporzione dei costituenti presentava variazioni maggiori.

Come esempio di una discreta differenza, fu fatta una prova, sopra una porzione di mezzo sovrano, a cui si era aggiunto $\frac{1}{1000}$ del suo peso, in rame. Se ne fece il confronto con un'altra parte dello stesso conio; ma non si scoprì nessuna differenza; può darsi, a cagione della impossibilità, di fare una lega sopra una così piccola scala, senza qualche perdita del minore e più ossidabile costituente.

Si compose poi una lega di 5,5996 grammi di piombo, e 0,6221 grammi d'argento; disciolto l'argento nel piombo, che si era fuso in un tubo ricurvo di vetro refrattario, sotto una corrente d'idrogeno.

La composizione centesimale di questa lega era di 89 per cento di piombo, e 11 d'argento. Le righe dell'argento a lunghezza d'onda 5470, 5464, 5209 furono riscontrate nel suo spettro: e un'altra riga appariva incerta a 5401.

Il polo opposto era fatto di piombo, per quanto constava, puro; e si osservava, che le sue righe erano più lunghe di quelle del piombo della lega. Dirimpetto alla riga 5290 dell'argento, se ne notava una molto sbiadita; ma essa era più probabilmente la debole riga del piombo 5206; poichè non si mostrava nessuna delle più lunghe righe dell'argento.

Digitized by Google

Il polo opposto, che era di piombo laminato puro, quale si usa per gli assaggi, fu sostituito da uno di piombo laminato ordinario: e la riga in questione non apparve, per questo, più intensa; però essa era, quasi sicuramente, la 5206 del piombo.

Allo scopo di vedere, quanto argento era necessario, perchè ne apparisse lo spettro, nel dubbio che il piombo ordinario contenesse traccie d'argento, fu fatta una lega, che conteneva il 0,01 per cento d'argento. Non apparve nessuna riga dell'argento; e lo stesso risultato si ottenne, quando si allegò col piombo il 0,05 per cento d'argento. Così pure, quando si aggiunse il 0,11 per cento. Nè valse, a far comparire le righe, neppure l'uso di una grossa boccia.

Finalmente, si compose una lega, che conteneva l'1,0 per cento; ed allora le righe dell'argento apparvero distintissime, in numero di tre: 5464 era la più lunga, le seguiva la 5209, e la 5470 era la più breve.

Si fece in seguito una lega col 0,5 per cento; le due righe a lunghezza d'onda 5464 e 5209, si scoprirono, con qualche difficoltà, ma brevissime e pallide. Continuate indagini dimostrarono, che la riga 5464 scomparisce fra 0,05 e 0,2 per cento di argento (poichè si riuscì a scoprirla nel 0,05 per cento), e mi convinsero eziandio dell'estrema irregolarità delle varie porzioni della lega, sebbene fossero composte colla massima accuratezza, che i miei mezzi mi permettevano.

Si fecero esperimenti, anche sopra leghe di stagno e cadmio: dove quest'ultimo costituiva il 0,154 per cento della lega. Delle sue righe, non rimaneva costantemente visibile che la più lunga, a lunghezza d'onda 5085, estremamente pallida, ma sempre della stessa lunghezza, e con un breve tronco brillante. La linea 4793, quando pure si vedeva, non

Digitized by Google

appariva, che come un tronco; del resto nè la 4677, nè le altre righe del cadmio, non si poterono mai rinvenire. Un'altra lega di stagno, col 1,0 per cento di cadmio, presentò distinta e brillante la 5085, come pure la 4799; si distingueva altrettanto bene la 4677: e la cima della riga espansa meno refrangibile 5377 cominciava a mostrarsi. Non si potè verificare la presenza dell'altra riga espansa 5338, poichè è quasi coincidente con una delle linee dello stagno. Oltre questo punto, coll'aumentare la proporzione del cadmio, fino al 5 e al 10 per cento, l'effetto, che si otteneva, era principalmente d'allungare, e d'ingrossare le righe visibili.

Allo scopo di determinare, se questi risultati si modificassero, perchè la lega contenesse altri metalli, se ne compose una, col 89, 11 per cento di piombo, il 9, 90 per cento di zinco, il 0, 85 per cento di stagno, il 0, 09 per cento di cadmio. La riga del cadmio non presentò nessuna differenza apprezzabile, da quando appariva nello spettro di leghe, contenenti il 0,1 di cadmio, e il 99, 9 per cento di ognuno di questi metalli.

§ 6. — *Leghe d'oro e rame.*

Coi campioni della zecca, trovai *in piccolo* gli stessi fatti, coi quali, *in grande*, era già famigliare; e le minori variazioni, che, in queste condizioni, mi presentavano i fenomeni, mi permisero di comprenderli meglio.

Trovai, che con oro e rame, l'aumento di una millesima parte d'oro, abbassa le righe, mentre un eguale aumento del rame le eleva, cioè accresce l'altezza del vapore, che si svolge dal polo.

Digitized by Google

Invece, con argento e rame, l'aumento di una millesima parte d'argento eleva le righe, mentre un eguale aumento del rame le abbassa, nel campo visuale, cioè diminuisce l'altezza del vapore.

Registrati questi fatti, non tardai a convincermi, che tutto si poteva spiegare, supponendo un cambiamento di volatilità; vale a dire, supponendo, che due leghe, che differiscono per una millesima parte, sono due cose fisicamente diverse, e che la scintilla agisce sopra il complesso della lega, come sopra ciascun vapore, separatamente.

Così, nei due casi considerati, in entrambi dei quali figura il rame, troviamo i seguenti punti di fusione:

Oro	1200 (Pouillet).
Rame . . .	1200 - 1000 (non ben determinato).
Argento . .	1000 (Pouillet).

E la posizione intermedia occupata dal rame ci spiega subito perchè l'aggiunta dell'oro e dell'argento, esercita sulle sue righe un'azione diversa.

Il signor Roberts, il chimico della zecca, fu così cortese, da associarsi a me, in un minuto esame delle leghe di rame ed oro. In queste nostre esperienze, leghe sconosciute e pezzi di nota composizione, ordinati sopra un opportuno sostegno, (come si vede nella fig. 48), si facevano girare sotto l'elettrodo fisso F, (di alluminio, o di platino ed iridio).

Ci convincemmo in breve, che era necessario di regolare, con tutta cura, la lunghezza della scintilla, per mezzo della quale si produceva il vapore incandescente della lega.

Nelle prime prove, non si faceva che porre un pezzetto di lega, di forma più o meno irregolare, in un'appropriata morsetta: e, fra esso, e un frammento simile di alluminio,

Digitized by Google

o d'altro metallo, si facevano passare le scintille. Adottammo, in seguito, un metodo, suggerito dal prof. Stokes, il quale consiste nel far passare la corrente delle scintille,

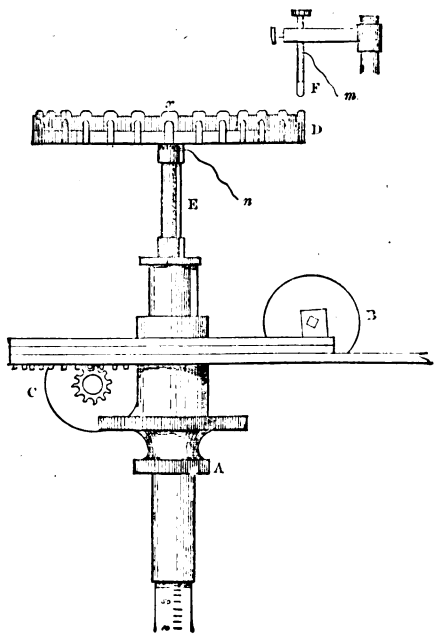


Fig. 48. — Sostegno, per l'esame dei campioni.

A, Vite per elevare. — B, Vite per girare. — C, Congegno pel movimento laterale. — D, Disco, che porta i campioni. — F, Polo superiore fisso. — *mn*, Reofori del rocchetto.

in direzione verticale, fra la più breve distanza di due cilindri, disposti orizzontalmente, cogli assi perpendicolari.

L'uso di questi cilindri presentava molte difficoltà: per cui vi sostituimmo delle liste di metallo, foggiate, come si vede nella figura, ad *x*.

Digitized by Google

La distanza fra i due poli si regolava, prima *approssimativamente*, poi mediante un catetometro. Ma i risultati più precisi si ottennero, portando il pezzetto di lega nel campo di un microscopio, con 3-4 pollici d'obbiettivo; mentre un semplice congegno, simile a quello, che rappresenta la figura, trasportava la superficie, donde doveva scoccare la scintilla, al punto d'intersezione di due fili di ragno, posti nell'oculare.

Curammo, che le leghe fossero omogenee; e la prima, a cui dedicammo la nostra attenzione, fu la lega di zinco e cadmio, appartenente alla serie di quelle, che Matthiessen chiamava « soluzioni solidificate di un metallo in un altro. »

Si operò, in seguito, sulla lega rame ed oro, la cui disposizione molecolare sembrava renderla specialmente opportuna pel nostro scopo: molto più, che presentava questo vantaggio, che, adoperando i soliti processi di assaggio, si aveva potuto determinare, con sicurezza, la loro composizione, fino ad $\frac{1}{10000}$ del peso originario del pezzo esaminato — grado di precisione, che troveranno ben ragguardevole, quanti hanno pratica dei metodi ordinarii d'analisi quantitativa.

I risultati delle osservazioni furono tradotti in curve, dove le coordinate rappresentavano la composizione della lega, quale risultava dai soliti processi d'assaggio, e i punti variabili di eguale splendore, misurati dal micrometro a fili orizzontali mobili, donde era fornito il cannocchiale. Si rappresentarono le letture del micrometro come punti, corrispondenti alle composizioni; e si tracciò una linea media.

Il nostro metodo si riduceva in ogni caso, a preparare di simili curve, servendosi di campioni, esattamente conosciuti. Tracciata la curva, prendendo dei campioni d'ignota

Digitized by Google

composizione, si determinavano, per mezzo delle letture micrometriche, i punti ad essi corrispondenti. Allora, trasportando l'occhio dalla curva all'asse degli assaggi per spartimento, si passava dalla determinazione spettroscopica all'analitica, che, così, si veniva a definire. Da molte serie d'esperienze, sopra leghe di composizione non prima esaminata, potemmo conchiudere, che i risultati degli assaggi spettroscopico ed analitico non presentavano che leggiere

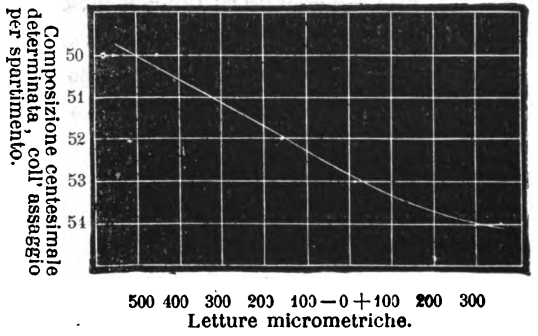


Fig. 49. — Leghe di zinco e cadmio.

differenze, finchè si mantenevano uniformi le condizioni dell'esperienza.

Possiamo citare le esperienze seguenti:

Si preparò sinteticamente un certo numero di leghe di zinco e cadmio, e si scelse una serie di cinque, nelle quali la proporzione centesimale del cadmio aumentava di 1 per volta, da 50 a 54 per cento. È notevole, che queste leghe si componevano di due metalli, entrambi molto fusibili, (il zinco fonde a 433° C. e il cadmio a 228° C.); e che l'osservazione spettroscopica ci permise subito di ordinarle esattamente. V. fig. 49.

Digitized by Google

Si prese, in seguito, una serie di leghe, che contenevano, sopra 1000 parti, da 900,0 a 922,5 di oro. Si ottenne una

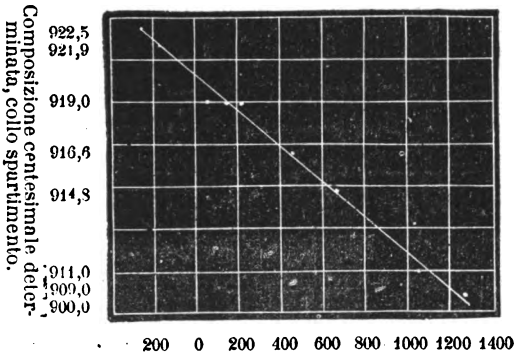


Fig. 50. — Leghe di oro e rame. — Curva *A*.

curva (A), tenendo i fili del micrometro verticali, e misurando la base delle parti visibili più basse delle righe spet-

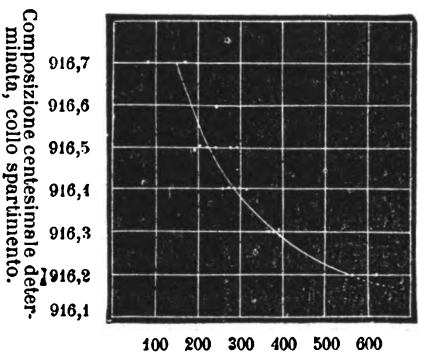


Fig. 51. — Leghe di oro e rame. — Curva *B*.

troscopiche considerate; il qual metodo si dimostrò più appropriato per le serie più larghe, mentre l'osservazione

Digitized by Google

delle parti superiori delle righe spettrali si trovò più conveniente per lo studio delle serie più minute. Osservammo specialmente, se le curve si mantenessero continue, ed in qual punto una curva, ricavata da certe righe, cessava di essere ben definita.

Si disegnò anche una seconda curva (B), per mezzo di leghe di oro e rame, determinate nell'ordinario modo, fino alla diecimillesima parte.

Si vede a colpo d'occhio, che, nella parte inferiore della curva, un cambiamento di composizione di $\frac{1}{10000}$, produce, sulle letture micrometriche, un cambiamento molto più grande, che non nella parte superiore. Vuol essere notato altresì, che, siccome in questa più sensibile parte della curva alla differenza di $\frac{1}{10000}$ corrisponde una differenza di 200, nella lettura micrometrica, si potrà costruire una curva soddisfacente, soltanto, quando la vera composizione della lega sia determinata con un'esattezza molto maggiore di quella, che i metodi attuali permettono di raggiungere.

In parecchi casi, con un medesimo campione, si fecero due, od anche tre, letture coincidenti, epperò il numero dei punti, posti nelle colonne verticali, nelle singole figure, non indica necessariamente il numero dei pezzi di quella composizione, che furono esaminati. Se consideriamo i campioni della zecca, la cui composizione si trovò di 916,4, si vede, che il massimo scostamento dalla curva è inferiore ad $\frac{1}{20000}$ di parte; ed in questo caso, non si può nemmen dire, che la lettura dello spettroscopio era affetta d'errore, poichè, se le leghe avessero avuto realmente quella composizione, che risultava dall'osservazione spettroscopica, per rispetto all'assaggio per spartimento, sarebbero state ancora tutte qualificate come 916,4. Di più, se si considerano i campioni 916,6, si vede, che,

Digitized by Google

mentre, pei due a cui corrispondono le letture 150, lo scostamento non è maggiore che nel caso precedente $\left(\frac{1}{50000}\right)$; il risultato ottenuto pei due, a cui corrispondono le letture 250, suggerisce di ascriverli ad una regione della curva, donde secondo lo spettroscopio, risulterebbe che la loro composizione è minore di 916,5. Questo scostamento era troppo grande, perchè non si trovasse necessario di fare una nuova determinazione col metodo ordinario; e si ebbe la soddisfazione di trovare, che il risultato dell'esame analitico, corretto, era quasi identico, a quello, che aveva indicato lo spettroscopio.

§ 7. — *L'opera del futuro.*

Non si possono certo prevedere tutte le applicazioni, di cui potrà essere suscettibile questo nuovo metodo, nella chimica analitica; ma, siccome gli esperimenti, fatti finora, furono particolarmente diretti, a stabilire un nuovo metodo di assaggiare l'oro, converrà per ora, di attenersi a considerare i vantaggi relativi del nuovo e del vecchio metodo, in questa operazione.

Mediante accurati esperimenti, abbiamo determinato, che la quantità di lega, che effettivamente si vaporizza, in ogni osservazione, non superò in nessun caso, 0,0001 grammi; ed è interessante di paragonare questa quantità, con quella, che si impiega negli assaggi ordinarii, la quale varia da 0,5 ad 1 grammo.

Si potrà obbiettare, che tal quantità è eccessivamente piccola; ma, quando si garantisca l'accuratezza del metodo, e l'omogeneità della lega — qui sta tutta la difficoltà — non vi è certo nessuna ragione, perchè la composizione di una

Digitized by Google

verga d'oro non possa essere così esattamente definita, come coll'antico processo.

Si asserisce, che il metodo attuale assicura fino la $\frac{1}{10000}$ parte del pezzo di metallo, preso ad esame; oltre che possiede parecchi vantaggi accessorii: fra i quali, non ultimo, la possibilità di scoprire, in diversi stadii dell'operazione, la presenza di impurità metalliche come, per esempio, d'iridio.

D'altra parte, vuolsi osservare, che il metodo comune, comprende sei distinte operazioni, e che, per condurlo a termine, richiede due ore. Siccome importa, spesse volte, di determinare il valore di una verga d'oro, con prontezza, si vede, che, per questo riguardo, il nuovo metodo offre un vantaggio considerevole. Poichè, per mezzo di esso, si può ottenere il risultato in pochi minuti.

La sola esperienza varrà a mostrare, se nel nuovo metodo si possa porre tanta confidenza, come nell'attuale. Intanto, non si è ancora ottenuta un'identità assoluta nelle condizioni, sotto le quali si sono eseguite le diverse esperienze; per esempio, l'intensità della corrente, impiegata per volatilizzare il metallo, variava di volta in volta. Questo, ed altri difetti, provennero principalmente da ciò, che finora il problema non fu studiato, che dal punto di vista scientifico.

Comunque sia, il fatto si è, che, col nuovo procedimento, si possono scoprire, nella composizione delle leghe d'oro, differenze così piccole, qual'è $\frac{1}{10000}$ della massa totale.

Termino questo capitolo, coll'esprimere la mia gratitudine al dott. Siemens e ad altri amici, che mi hanno mandato campioni di varie miscele, mediante le quali ho potuto verificare il mio processo. Mi duole d'aver dovuto occupare il mio tempo in tanti altri modi, così che non ho potuto fare altri esperimenti, che quelli che ho qui citato.

Digitized by Google

CAPITOLO IX.

SULLA COINCIDENZA DELLE RIGHE SPETTRALI.

§ 1. — *Ordinaria presenza d'impurità.*

Non è necessario un lungo esame dei diversi spettri, per provare, non solo la grande impurità della maggior parte dei metalli adoperati, ma il fatto, altresì, che molte, se non la totalità, delle coincidenze, osservate da Thalén e da altri, si possono spiegare, senza ricorrere all'idea di una coincidenza fisica.

Esaminando, per esempio, la carta dello spettro solare, fatta da Ångström, si rileva subito, come in parecchi casi, una medesima linea si trova comune a due o più spettri; ciò che accade specialmente per le righe del ferro, del titanio, e, sopra tutto, del calcio: poichè quasi tutti gli spettri degli altri metalli solari presentano uno o più casi di coincidenza con esso.

Nei casi esaminati, fu spesso notato, che una riga comune a parecchi spettri, è lunga e brillante, soltanto in uno solo di essi; mentre negli altri è breve, o pallida, o l'uno o l'altro: anzi, con certi campioni, scomparisce affatto.

Si possono citare come esempio di questa diversità d'ap-

Digitized by Google

parenza, i seguenti fatti, che si osservano negli spettri del calcio e dello stronzio. La riga più lunga della parte visibile dello spettro del calcio, di lunghezza d'onda 4226,3 (Thalén), apparisce nello spettro dello stronzio, come di mediocre grandezza; 4607,5, una delle righe più lunghe dello stronzio, è breve, nello spettro del calcio.

Un'altra riga dello stronzio, lunghissima, si presenta a 4215,3, assai prossima alla più lunga riga del calcio: e, secondo Thalén, si trova anche nello spettro di quest'ultimo.

Io non sono riuscito, a tutta prima, a riconoscerne la presenza, in questo spettro; e, notisi, che fu, quando adoperavo del metallo purissimo.

Così, abbiamo due metalli, con due righe comuni: e si riconosce, che la riga, che è brillante e lunga, in uno spettro, è pallida nell'altro; per quanto alla terza, un osservatore la ritrova, in entrambi gli spettri, l'altro, in uno solo, e non è, che in seguito a ripetute prove, che riesce ad osservarla, anche nel secondo, *ma, soltanto con un campione, che sapeva essere inquinato del primo metallo.*

La più semplice spiegazione di questi fatti, se si rammentano le cose esposte, si ha, supponendo, che il calcio, adoperato per produrre lo spettro, conteneva dello stronzio, mentre lo stronzio, alla sua volta, conteneva del calcio; condizione di cose, che, quando ci si pensi un momento, si vedrà, non solo possibile, ma probabilissima, essendo ben nota la stretta relazione chimica dei due metalli, e l'estrema difficoltà di separarli, anche approssimativamente, quando si trovano mescolati.

Ed ancor che non si conoscesse la probabilità, che hanno quei due metalli, di trovarsi insieme mescolati, il modo in

Digitized by Google

cui si comporta la riga a l. d'o. 4215,3 basterebbe ad indicare la vera cagione delle coincidenze.

Le righe lunghe del calcio a l. d'o. 4226, 3968 e 3933 compariscono anche nello spettro del ferro, del cobalto, del nichelio, del bario, e d'altri metalli, quando si osserva, per mezzo dell'arco, *usando poli di carbone*, ed assumono proporzioni notevolissime, così da eguagliare e da sorpassare in lunghezza, molte delle righe, che appartengono fuor di dubbio a quei metalli, meno facilmente volatilizzati dalla corrente. D'altra parte, le righe del ferro 4071, 4063 e 4045 si vedono, in simili condizioni, nello spettro del calcio, dello stronzio e del bario.

Così, le righe più lunghe dell'alluminio (a lunghezza d'onda 3961 e 3943) si presentano ordinariamente nello spettro del ferro, abbastanza lunghe; e si possono anche trovare nello spettro del cobalto, del nichelio, del calcio, dello stronzio e del bario, e d'altri metalli, dove appariscono anche più lunghe di alcune delle loro vere righe, a cagione della loro minore volatilità.

§ 2. — *Proposizioni generali intorno alle coincidenze.*

In conseguenza di queste considerazioni, si possono arrischiare le seguenti proposizioni generali, avvertendo, che può darsi certamente, che indagini ulteriori le modifichino.

1.° Il fenomeno della coincidenza delle righe dei metalli, presenta raramente il caso, che le righe abbiano una lunghezza di primo ordine, in tutti gli spettri, a cui sono comuni; specialmente, se i metalli considerati sono, press'a poco, egualmente volatili. È molto più frequente il caso,

Digitized by Google

che siano lunghe in uno spettro, e più brevi, in tutti gli altri.

2.° Di regola, quando nello spettro del ferro, del cobalto, del nichelio, del cromo e del manganese, sostanze, che si vaporizzano difficilmente, si presentano delle righe caratteristiche dello spettro del calcio (che si volatilizza facilmente), queste sono lunghe. Però, è lecito presumere, che le righe lunghe ed intense, comuni agli spettri del ferro, del cobalto, del nichelio, del cromo e del manganese, ed a quello del calcio, sono effettivamente dovute a traccie di quest'ultimo, che si trovano nei primi, come impurità.

3.° Quando negli spettri di varie sostanze, si osserva na medesima riga, si hanno ragioni, per supporre, che la riga è caratteristica di quello spettro, in cui appare più lunga e più brillante.

A mostrare quali buone speranze si possano avere, che tutto ciò sarà deciso dalla fotografia, e deciso nel senso da me indicato, vale una delle prime fotografie, prese col metodo descritto. Si possono ivi confrontare gli spettri del calcio e dello stronzio.

Si vede subito, come vi siano tre righe, lunghe ed intense, comuni ad entrambi, alle l. d'o. 3968, 3943, le due righe H, e 4226,3, la grossa riga del calcio, prossima a G. Nello spettro dello stronzio, si vedono tre righe assai più grosse di quelle che vi corrispondono, nello spettro del calcio; sono poste presso le lunghezze d'onda 4029 e 4077, e a 4215,3. La terza fu ascritta da Thalén al calcio, e coincide con una riga solare, molto carica. Io, considerando la fotografia, non indugiai ad attribuirla allo stronzio, poichè, nello spettro di questo metallo, raggiunge la sua maggiore intensità; per modo che quest'unica tavola, mi bastava, per

Digitized by Google

stabilire, secondo questi principii, la presenza dello stronzio, nello strato assorbente del sole.

Si vede, che, in genere, il confronto delle fotografie dei diversi spettri, in cui compariscono righe comuni, basterà ad indicare a quale spettro una riga disputata si debba attribuire.

Si può notare altresì, che le suddette tre righe del calcio, nello spettro dello stronzio, appariscono press'a poco, così marcate, come in quello del calcio stesso, mentre passa una differenza grandissima fra le grosse righe dello spettro dello stronzio, e le corrispondenti, che si vedono in quello del calcio. Tutti questi fatti si spiegano agevolmente, supponendo, che il calcio conteneva più di stronzio, che non quest'ultimo del primo. Ed io avevo tanta fede nell'efficacia di questo metodo, e nell'opinione, che le coincidenze derivano soltanto da impurità, che non credetti necessario neppure di cambiare i poli, ma posi addirittura il sale di stronzio sul polo, che, un momento prima, aveva servito, per l'ignizione del calcio.

Ecco un fatto, che attesta chiaramente l'impurità straordinaria di quel sale. Adoperando dello stronzio, quasi puro, si vedono ancora quelle righe, ma più sottili, e più brevi.

Aggiungerò, che le righe a 4045, 4063 e 4071 sono dovute ad impurità di ferro; sono esse le righe più lunghe di questo metallo, che compariscono, in quella porzione dello spettro, di cui si è presa la fotografia.

§ 3. — *Eliminazione delle righe dovute alle impurità.*

Queste considerazioni ci forniscono un metodo d'*eliminare le righe provenienti dalle impurità*, dalle carte dello

Digitized by Google

spettro dei metalli. Si segue questo processo: Lo spettro dell'elemento si confronta, in primo luogo, con quelle delle sostanze, che più facilmente si trovano come impurità, e dei metalli i cui spettri, secondo le misure di Thalén, contengono righe coincidenti.

Se, a questo modo, si ritrova qualche riga d'impurità, si nota, per escluderla dalla carta, tenendo conto della sua vera sorgente. Che, se si osserva qualche riga, la quale, nelle varie fotografie, cambia d'intensità o di lunghezza, si sospetta subito, che debba attribuirsi ad impurità, e, ove si riconosca, che ciò è vero, si nota, similmente, per ometterla.

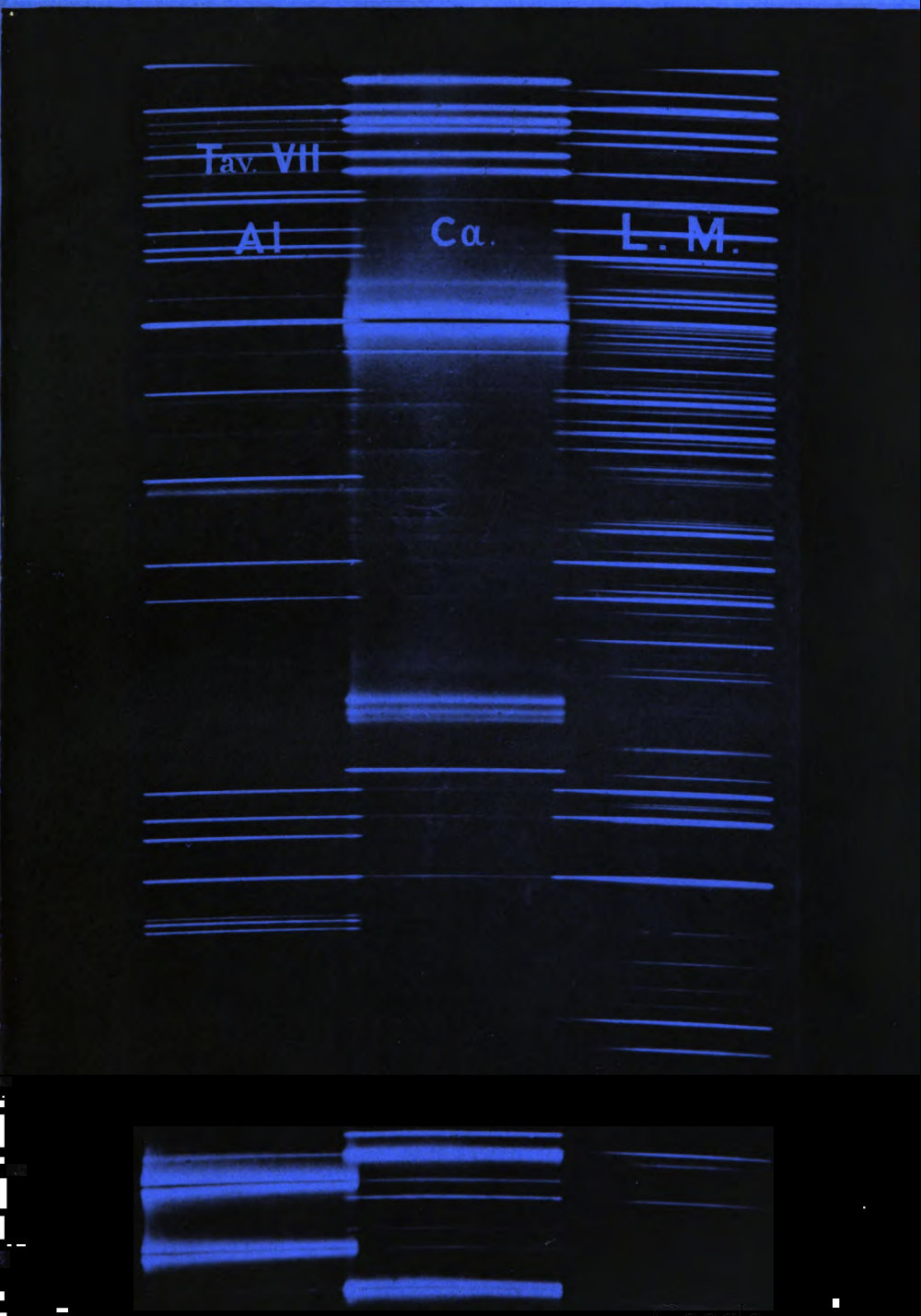
Si decide, se una data riga, che apparisce in due o più spettri, debba tenersi od escludersi, osservando in quale spettro è più intensa. Quando si debbono tradurre in carte, contemporaneamente, gli spettri di parecchi metalli, conviene di confrontarli sulla medesima lastra, poichè così si potrà subito scoprire, se uno di quei metalli entra negli altri allo stato d'impurità.

Così, le due righe H e K (3933 e 3968), entrambe designate da Ångström, come comuni al ferro ed al calcio, si dimostra, che sono caratteristiche del secondo, mediante le osservazioni seguenti:

a. Le righe sono ben marcate nello spettro del ferro impuro del commercio, ma si trovano in perfetta coincidenza con due grosse righe dello spettro del cloruro di calcio, col quale fu confrontato quello del ferro.

b. Non se ne vedono che traccie, nello spettro di un campione di ferro puro preparato dal fu dott. Matthiessen, e messo gentilmente a mia disposizione dal dott. Russel. I poli della lampada erano entrambi di ferro; l'inferiore consisteva di una verga, fusa in una forma di calce.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

c. Mancano assolutamente nella fotografia dello spettro del ferro puro, presa, adoperando una lampada con poli di metallo puro *non* fuso nella calce: come anche nella fotografia dello spettro della meteorite di Lenarto.

Valgono questi esempii a spiegare in qual modo si sono interpretate molte delle coincidenze, notate dai primi osservatori.

Per determinare la coincidenza delle righe molto grosse, come le H, ora menzionate, si è specialmente considerato il centro della riga. Non accade di rado, che le righe molto grosse s'invertiscano; e questa circostanza agevola assai il confronto, perchè allora una sottile riga oscura s'insinua nel centro della grossa riga brillante.

Eliminando, nel modo anzi detto, le righe provenienti dalle impurità, si finisce per ottenere uno spettro, le cui righe si possono tutte assegnare all'elemento esaminato.

Sembra probabile, che, col progredire di questo lavoro, gli spettri del ferro e degli altri metalli, che tutti gli osservatori hanno trovato così complessi, si semplificheranno notevolmente, potendosi eliminare da essi molte righe, che, attribuite finora a quei metalli, si dimostrerà, in seguito, che provengono da impurità. Potrà forse interessare di esporre alquanto più minutamente alcune considerazioni, che m'inducono a fare una simile conclusione.

Si sono dati, per esempio, dei casi in cui una riga ben definita, che appariva nello spettro di un metallo, si è mostrata coincidente colla più lunga riga dello spettro di un altro elemento, quando, per la prima volta, se ne prese la fotografia.

Così pure, supponiamo, che del ferro entri, come impurità in un elemento, di cui per la prima volta si fotografa

Digitized by Google

lo spettro. Si rinverranno tosto le righe, osservate nello spettro del ferro: ma potrà accadere, che, alcune di esse appariscano nello spettro dell'elemento, molto più lunghe di altre, che, nello spettro del ferro, furono riguardate come di lunghezza press'a poco eguale.

In somma, vi sono molte righe dello spettro di alcuni elementi, invertite nello spettro solare, le quali appariscono in perfetta coincidenza con righe della stessa lunghezza d'onda, e fornite delle stesse caratterische, proprie dello spettro di altri. Può darsi, che una dispersione più grande riesca a mostrare, che tutte queste righe, invece d'essere veramente coincidenti, si sfiorano leggermente. Per quanto finora mi consta, io sono indotto a sospettare, che queste righe si devono alla presenza di comuni impurità, costituite da elementi non ancora esaminati, o tuttora ignoti.

Digitized by Google

CAPITOLO X.

ELEMENTI CHE SI TROVANO NEL SOLE.

Le osservazioni, di cui si trattò nel cap. V, sono importanti, per lo studio della costituzione chimica del sole, pel fatto ben noto, che tutte le righe degli elementi, che si suppongono trovarsi nell'atmosfera del sole, non sono in ogni caso invertite.

Prima di venire alla dettagliata esposizione dei fatti, gioverà di risalire ai primi lavori di Kirchhoff e di Ångström, per riconoscere distintamente le prove, sulle quali si fonda la nostra attuale conoscenza degli elementi dell'atmosfera solare, quali risultavano col metodo di Kirchhoff (vale a dire senza localizzare, ma coll'integrare, le varie regioni solari, come macchie, facole, e cromosfera).

§ 1. — *Lavoro di Kirchhoff.*

Kirchhoff, nella sua memoria, dove stabilisce, che la doppia riga D, anteriormente registrata da Fraunhofer, coincide con una doppia riga, osservata nello spettro del sodio, conchiude, che il vapore di sodio, si trova nell'atmosfera del sole, come già, prima di lui, aveva fatto il professore Stokes. Avendo poi trovato, che le righe lucide del

Digitized by Google

ferro, da lui osservate, mediante la scintilla (egli non ne vide, che uno scarso numero) coincidevano con ben definite righe di Fraunhofer: conchiuse, che nell'atmosfera del sole, vi è pure del ferro. Le rimanenti dimostrazioni relative agli altri metalli, le traggo dalla traduzione della sua memoria, fatta dal prof. Roscoe [1].

Tosto che fu così determinata la presenza di un elemento terrestre, nell'atmosfera solare, e spiegata, per tal modo, l'esistenza di un numero considerevole di righe di Fraunhofer, si trovò naturale di supporre, che altri corpi terrestri vi si contenessero, e che, esercitando il loro potere assorbente, cagionassero la comparsa di altre righe. Difatti, niente di più probabile, che alcuni corpi elementari, che abbondano sulla terra, e sono similmente distinti per le caratteristiche righe lucide dei loro spettri, dovessero essere visibili, come il ferro, nell'atmosfera solare. Ciò si verificò per il calcio, il magnesio ed il sodio. Gli spettri di questi metalli, presentano effettivamente poche righe; ma esse, come pure le righe oscure dello spettro solare, colle quali coincidono, sono così straordinariamente distinte, che si possono osservare, con tutta esattezza.

Il fatto poi, che queste righe si presentano in gruppi, rende l'osservazione della coincidenza degli spettri più esatta, che non nel caso di quelle che si presentano ad una ad una. Le righe prodotte dal cromo costituiscono pure un gruppo molto caratteristico, che similmente coincide con un gruppo, assai distinto, di righe di Fraunhofer; epperò io credo di poter affermare, a buon diritto, che il cromo entra nell'atmosfera del sole. Mi parve molto interessante di ricercare, se vi entrano il nichelio ed il cobalto, elementi che accompagnano costantemente il ferro, nelle meteoriti. Gli spettri di questi metalli, come quello del ferro, si distinguono per le numerose righe; se non che le righe del nichelio, e quelle del cobalto ancor più, sono molto meno brillanti di quelle del ferro; epperò non sono riuscito a determinare la loro posizione, con tanta esattezza, come nel caso del ferro. Tutte le righe *più lucide* del nichelio sembrano coincidere con righe oscure dello

[1] *Atti dell'Accademia di Berlino*, 1861. Trad. di Roscoe. Macmillan.

Digitized by Google

spettro solare; similmente, per alcune delle righe del cobalto [1], *il che non si verificò, per altre righe di questo metallo, di pari lucidità.* Da queste mie osservazioni, mi ritengo autorizzato a conchiudere, che il nichelio esiste nell'atmosfera solare; per quanto al cobalto, finora non voglio dir nulla. Il bario, il rame ed il zinco, pare che vi si trovino, ma soltanto in piccola quantità; le righe più lucide di questi metalli corrispondono a righe ben distinte dello spettro solare, ma le righe più deboli non si riscontrano sensibilmente. Gli altri metalli, che io ho esaminato, cioè l'oro, l'argento, il mercurio, l'alluminio, il cadmio, lo stagno, il piombo, l'antimonio, l'arsenico, lo stronzio ed il litio, per quanto risulta dalle mie osservazioni, nell'atmosfera solare non sono visibili. Grazie alla gentilezza del signor Grandeau, di Parigi, ho potuto avere alcuni pezzi di silicio fuso; usandoli come elettrodi, potei esaminare lo spettro di questo elemento. Tuttavia, le sue righe, ad eccezione delle larghe striscie verdi a 1810 e 1830, sono così poco luminose, che non sono riuscito a determinarne la posizione con sufficiente esattezza, per riprodurle ne' miei disegni. Le due brillanti striscie verdi non trovano nello spettro solare striscie oscure corrispondenti; per modo che, stante a ciò che io seppi fare, il silicio non si vede nell'atmosfera solare.

Si rileva, da ciò che precede, come Kirchhoff si occupasse in special modo delle righe più lucide, sebbene questo indizio gli si dimostrasse insufficiente, nel caso del cobalto, per una ragione che indicherò in seguito. Risulta, quindi, dal lavoro di Kirchhoff, che, nell'atmosfera solare, abbiamo

Presenti.	*Incerto.*	*Mancanti.*
Sodio.	Cobalto.	Oro.
Ferro.		Argento.
Calcio.		Mercurio.
Magnesio.		Alluminio.
Nichelio.		Cadmio.
Bario.		Stagno.
Rame.		Piombo.
Zinco.		Antimonio.
		Arsenico.
		Stronzio.
		Litio.
		Silicio.

[1] Le frasi in corsivo sono mie.

Digitized by Google

§ 2. — *Ångström e Thalén.*

Ångström [1], invece di una lista, come questa, dà un indice delle coincidenze osservate. Thalén, suo collaboratore, in una distinta memoria [2], dà come presenti nel sole:

Sodio.	Cromo.	Idrogeno.
Ferro.	Nichelio.	Manganese.
Calcio.	Cobalto.	Titanio.
Magnesio.		

eliminava così dalla lista, ammessa da Kirchhoff, il zinco ed il bario, e v'aggiungeva il cobalto, da Kirchhoff giudicato incerto, l'idrogeno ed il manganese, desumendone la presenza dalle osservazioni di Ångström, ed il titanio, desumendola dalle proprie.

Il suddetto indice delle coincidenze, e le relative considerazioni di Ångström, spiegano questi criterii. Kirchhoff per affermare la presenza del zinco, si appoggiava alla coincidenza di due righe sole, ciò che fu ritenuto affatto insufficiente, poichè, per gli altri metalli, conservati nella lista, si aveva un numero di coincidenze molto maggiore; così:

Sodio	9 (tutte)	Magnesio . . .	4 (3?)
Ferro	450	Cromo	18
Calcio	75	Nichelio	33
Cobalto	19	Idrogeno . . .	4 (tutte)
Manganese . . .	57	Titanio	118
Bario	11 (di 26)	Zinco	2 (di 27)
Alluminio . . .	2? (di 14)		

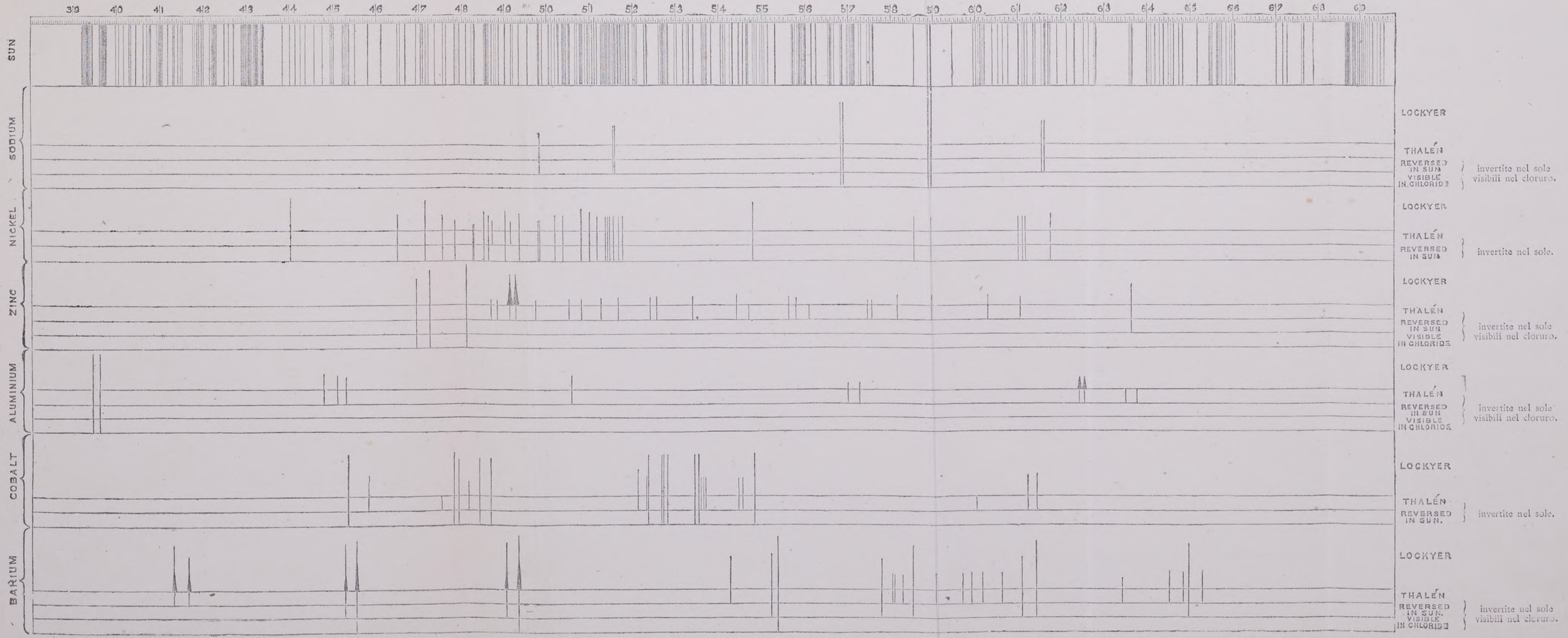
[1] *Recherches sur le spectre solaire,* par A. J. Ångström. *Spectre normal du Soleil.* Berlin, 1869.

[2] *Longueurs d'onde des raies métalliques,* p. 11. *Nova Acta.* Upsala, 1868.

Digitized by Google

Tav. VIII.

Si vede che le Righe invertite nello Spettro Solare sono le piu lunghe.



Digitized by Google

Digitized by Google

Dalle considerazioni di Ångström, che riproduco, si rileva manifestamente, che egli non era punto soddisfatto della prova dello splendore, allegata da Kirchhoff, e che di qui sorsero i suoi dubbi, intorno al zinco.

« L'aluminium possède certainement des raies brillantes en plusieurs endroits du spectre, mais les raies situées entre les deux H sont les seules qui semblent coïncider avec les lignes Fraunhoférienes. Pour expliquer ce phénomène singulier, il faut dire que les raies violettes se présentent comme les plus fortes dans le spectre de ce métal. De même que les raies jaunes du sodium, ces deux raies d'aluminium ont fait voir quelquefois le phénomène d'absorption consistant en ce qu'une raie noire se présente dans le milieu de chacune d'elles, ce qui prouve la forte intensité des dites raies. En observant les rayons extra-violets de ce métal, on décidera si les deux raies mentionnées ci-dessus coincident ou non avec des raies Fraunhoférienes; car si ma supposition est vraie, les raies extra-violettes doivent coïncider aussi avec les lignes obscures du spectre solaire.

« A deux raies du zinc que j'ai indiquées sur mes planches comme coïncidentes avec des raies Fraunhoférienes, il en faut ajouter une troisième, située à 4809,7; mais, à l'égard des deux raies, très-larges et très-fortes, d'une apparence nébuleuse, il n'y a pas de correspondance visible; ainsi, la présence du zinc dans le soleil me semble très-douteuse. Je dirai cependant qu'il existe trois raies de magnesium, du même aspect nébuleux, qui ne possèdent pas non plus de correspondance avec les raies de Fraunhofer, quoique la présence de ce corps dans le soleil ne permette pas le moindre doute. »

§ 3. — *Studio delle righe realmente invertite.*

Ora, un risultato degli ultimi lavori, è, che quando si confrontano gli spettri dei vapori metallici, invertiti nello spettro solare, impressi col nuovo metodo, così che si distinguano le righe lunghe e brevi, si trova che *le righe in-*

Digitized by Google

vertite sono costantemente quelle che, nello spettro del metallo, appariscono come più lunghe. Questo fatto ci porge il più distinto carattere, a cui dobbiamo ricorrere, per giudicare dell'inversione delle righe nello spettro solare, ed una guida della maggiore importanza, nell'osservazione spettroscopica della cromosfera e della fotosfera. Così, non si tardò a dedurne che, all'ultima lista degli elementi solari (quella di Thalén), bisognava aggiungere il zinco, l'alluminio, e, con molta probabilità, lo stronzio.

L'indagine perfetta richiede le carte complete delle righe lunghe e brevi di tutti gli elementi. Ma non era necessario di aspettarle, quando si volesse limitarsi ad una ricerca *preliminare*. Difatti, possono servire a distinguere le righe lunghe e brevi, le liste già date dai diversi osservatori; poichè, siccome abbiamo veduto, le righe, che si ottengono a bassa temperatura, da una piccola proporzione, o da una combinazione chimica, del vapore considerato, sono precisamente quelle che appariscono le più lunghe, quando si studia lo spettro completo del vapore denso e puro.

Ora, per quanto alle diverse liste e carte, pubblicate dai varii osservatori, si sa (1) che, per produrre gli spettri, furono impiegate temperature assai differenti, usando, alcuni, l'arco elettrico, con una corrente intensissima, altri, la scintilla d'induzione, con e senza condensatore; (2) che alcuni adoperarono, talvolta, il cloruro del metallo, di cui volevano studiare lo spettro, altri, lo stesso metallo.

È chiaro, che questi diversi metodi non potevano far a meno d'introdurre delle differenze nei risultati; ed infatti, paragonando le diverse carte e tavole, si trova che alcune annoverano molte righe, che non compariscono in altre.

Digitized by Google

Considerando i diversi metodi impiegati, si vede subito, che le liste più numerose sono quelle date dagli osservatori, che adoperavano correnti molto intense, o metalli puri; le più scarse, invece, sono di quelli, che facevano uso di correnti deboli, o di cloruri. Le liste della seconda classe d'osservatori, non ci forniranno che le righe più lunghe, mentre quelle tralasciate da essi, e registrate dai primi, saranno le più brevi.

Però, in tutti i casi, in cui non avevo ottenuto lo spettro, col nuovo metodo d'osservazione, descritto nella mia memoria, cominciai col determinare le righe più lunghe, con questo metodo d'approssimazione; infatti, considerando il numero ragguardevole di righe non ancora qualificate, mi parve interessante di intraprendere tosto la ricerca delle più lunghe righe elementari, nello spettro solare, senza attendere una completa serie di carte.

§ 4. — *Risultati della ricerca preliminare.*

Compita una ricerca preliminare, cercai di raccogliere degli indizii, per vedere, se vi fosse qualche carattere, che distinguesse gli elementi già riscontrati nel sole, da quelli non ancora registrati; però, si composero delle liste, le quali mostravano ampiamente i principali caratteri chimici degli uni e degli altri. Ciò si fece, considerando parecchie delle meglio conosciute combinazioni dei singoli elementi (come quelle formate coll'ossigeno, col solfo, col cloro, col bromo, coll'idrogeno), verificando, ogni volta, se il composto considerato fosse stabile o no. Quando l'elemento non ammetteva una di simili combinazioni, se ne teneva calcolo.

Digitized by Google

Si ottennero così due tavole, contenenti, l'una, gli elementi che si sono trovati nel sole, e l'altra, i più importanti fra quelli, che non si sono ancora trovati.

Queste tavole, avendo ricorso alla specificazione, mi presentarono il fatto, che, in generale, gli elementi solari conosciuti, formano stabili composti ossigenati. Ho detto in generale, perchè la specificazione non era completa; tuttavia, essa era abbastanza considerevole, per indurmi ad intraprendere la ricerca delle rimanenti sostanze, che presentano grande affinità per l'ossigeno.

Trovai subito che lo *stronzio*, il *cadmio*, il *piombo*, il *rame*, il *cerio* e l'*uranio*, molto probabilmente, esistono nello strato invertente del sole, in aggiunta agli elementi registrati da Thalén.

Per prova reciproca, si sono cercati anche alcuni degli elementi, che formano, coll'ossigeno, combinazioni instabili, come l'oro, l'argento ed il mercurio. Non ne fu trovato alcuno.

Tutto ciò nel 1874. Epperò, fin allora, il risultato era il seguente: —

METALLI CHE SI TROVANO NEL SOLE.

Sodio.	Cobalto.	Cadmio.
Ferro.	Idrogeno.	Piombo.
Calcio.	Manganese.	Rame.
Magnesio.	Titanio.	Cerio.
Cromo.	Stronzio.	Uranio.
Nichelio.		

Digitized by Google

§ 5. — *Indagine susseguente.*

Ho intrapreso, in seguito, una molto più scrupolosa ricerca, provandomi a comporre una nuova carta dello spettro solare. A questo scopo, sono stati direttamente paragonati, col metodo esposto nel cap. III, gli spettri della maggior parte degli elementi metallici. Le tavole seguenti presentano le condizioni attuali di questi studii (novembre 1877).

Le righe, citate, sono le più lunghe, fra quelle, che si vedono nella regione fotografica dei singoli spettri, sicchè, il fatto, che, nello spettro solare, esse appariscono invertite, deve considerarsi, come una prova molto efficace, che i rispettivi metalli, esistono nello strato invertente del sole. Tuttavia, se, come nel caso del rubidio, del litio, ecc., non si vede, che una sola riga, non si considererà la prova, come conclusiva; e finchè non si trovi un maggior numero di coincidenze, si ammetterà semplicemente, come probabile, che quei metalli esistano nello strato invertente del sole.

Giova rammentarsi, che righe lunghe potranno esistere, nella regione ultra-violetta, finora inesplorata, oltre che nel rosso, nel giallo, nell'aranciato, per modo che non si potrà affermare, assolutamente, che un metallo non si trovi nel sole, finchè non si siano passate in rivista tutte queste regioni.

È questo un lavoro riserbato per l'avvenire.

Digitized by Google

TAVOLA I.

ELEMENTI, DI CUI SI È DIMOSTRATA L'ESISTENZA, NELLO STRATO INVERTENTE DEL SOLE.

Nome dell'elemento.	PROVE	Autore
Sodio	Sono invertite le righe D.	S.K. [1]
Ferro	» » 450 righe.	K.
Calcio	» » 75 righe.	K.
Magnesio	» » 4 (3?) righe.	K.
Cromo	» » 18 righe.	K.
Nichelio	» » 33 »	K.
Bario	» » 11 » (fra 26).	K.
Zinco [2]	» » 2(?) » (fra 27).	K.
Cobalto	» » 19 »	T.
Idrogeno	» » 4 » (tutte).	A.
Manganese	» » 57 »	A.
Titanio	» » 118 »	T.
Alluminio	» » 2 » le più lunghe, a l. d'o. 3913,30 e 3960,50.	L.
Stronzio	Sono invertite 4 righe, a l. d'o. 4029,6, 4076,77, 4215,00 e 4607,5.	L.
Piombo	Sono invertite 3 righe, a l. d'o. 4019,28, 4056,8 e 4061,25.	L.
Cadmio	Sono invertite 2 righe, a l. d'o. 4677,0 e 4799,00.	L.
Cerio	Sono invertite 2 righe, a l. d'o. 3928,7 e 4012,0.	L.
Uranio	Sono invertite 3 righe, a l. d'o. 3931,0, 3943,0 e 3965,8.	L.
Potassio	Sono invertite 2 righe, a l. d'o. 4012,75 e 4016,28 (apparentemente, in questa regione dello spettro, soltanto le K).	L.
Vanadio	Sono invertite 4 righe, a l. d'o. 4379,0, 4384,0, 4389,0 e 4407,5.	L.
Palladio	Sono invertite 5 righe, a l. d'o. 3893,0, 3958,0, 4787,0, 4817,0 e 4874,0.	L.
Molibdeno	Sono invertite 4 righe, a l. d'o. 3902,0, 4576,0, 4703,0 e 4730,0.	L.

[1] S., Stokes; K., Kirchhoff; A., Ångström; T., Thalén; L., Lockyer.

[2] Thalén lo escludeva dalla sua lista degli elementi solari, mentre Kirchhoff ve l'aveva già compreso. Le mie osservazioni confermano quelle di Kirchhoff.

Digitized by Google

TAVOLA II.

ELEMENTI CHE PROBABILMENTE ESISTONO NELLO STRATO INVERTENTE DEL SOLE.

Nome dell'elemento.	INDIZII	Autore.
Indio	Una riga (1101,0) è visibilmente coincidente con h, risguardata finora, come una delle righe dell'idrogeno. È incerta l'inversione di un'altra riga (1509,0).	L.
Litio	S'inverte una riga lunga, a l. d'o. 4603,0; ma non si è finora scoperta l'inversione della lunga riga rossa a l. d'o. 6705.	L.
Rubidio	S'inverte una riga lunga, a l. d'o. 4202,0; ma non si sono ancora riscontrate delle righe solari, corrispondenti alle lunghe righe rosse, a l. d'o. 6205 e 6296.	L.
Cesio	Pare, che siano invertite due righe, a l. d'o. 4551,9 e 4592; ma per assicurare il fatto, si richiedono migliori fotografie.	L.
Bismuto	S'inverte una riga, a l. d'o. 4722,0, ma si ritengono necessarie ulteriori prove.	L
Stagno	È visibilmente invertita una riga, a l. d'o. 4524, ma si desiderano altre prove.	L.
Argento	Due righe, a l. d'o. 4018,0 e 4212,0, che appariscono invertite nello spettro metallico, sono di straordinaria larghezza; ed io non ho ancora avuto il tempo di determinare, se esse coincidono o no, con righe dello spettro solare, allegando l'argento col rame, o con qualche altro metallo, per modo da renderle più sottili.	L.
Glucinio	È visibilmente invertita una riga, a l. d'o. 3901,77: ma si richiedono ulteriori prove.	L.
Lantanio	Tre righe espanse, a l. d'o. 3918,20, 3938,0 e 3995,01 sono invertite.	L.
Ittrio o Erbio	Sono invertite due righe, a l. d'o. 3931,87 e 3949,55.	L.

Digitized by Google

TAVOLA III.

ELEMENTI CHE PER QUANTO RISULTA DALLE NOSTRE COGNIZIONI ATTUALI NON SI TROVANO NELLO STRATO INVERTENTE DEL SOLE.

Nome dell'elemento.	PROVE	Autore.
Carbonio	Non si è riscontrata nessuna coincidenza colle righe del carbonio.	A.
Silicio	Non si è trovata nessuna inversione.	K.
Tallio	La lunga riga verde a l. d'o. 5349, evidentemente non è invertita.	L.
Cloro Bromo Iodio	Non si è osservata nessuna coincidenza fra righe solari, e le righe lucide, che si vedono nello spettro della scintilla.	L.

I risultati, esposti nell'ultima tavola, offrono uno speciale interesse, perchè ho ragioni, per credere, che, nel caso del carbonio e del jodio, vi siano delle coincidenze, colle parti più notevoli dello *spettro a colonnato*. Questo può indicare, che, quegli elementi si trovano, in una regione dell'atmosfera solare, meno calda, e quindi più elevata, dello strato invertente, con un grado di complessità molecolare, maggiore di quello, che possiedono i vapori metallici, situati ad un livello inferiore.

§ 6. — *Osservazioni di Mitscherlich.*

Con ciò, noi siamo in grado di discutere le conclusioni, che Mitscherlich, nella sua prima memoria, traeva dalle sue osservazioni, sullo spettro solare:

« Ces essais montrent comment l'analyse spectrale peut conduire à la connaissance des affinités mutuelles des corps simples à la température de l'atmosphère solaire. Si l'on observait, par exemple, le spectre d'un chlorure alcalin terreux dans la lumière du soleil, on en pourrait

Digitized by Google

conclure que son métal possède, à la température du soleil, une affinité pour le chlore plus grande que le potasium ou le sodium, ces derniers métaux existant à l'état de liberté. Reciproquement, la connaissance des combinaisons existant dans l'atmosphère solaire pourra conduire à connaître la température de cet astre, si toutefois nous ne parvenons jamais nous-mêmes à approcher de cette température.

« La présence de sodium libre dans l'atmosphère conduit à admettre qu'il n'y existent pas de corps electro-négatifs libres, tels que l'oxygène ou le soufre, et qu'ils n'y existent même pas autrement en quantité assez abondante pour se combiner avec tout le sodium. En outre, tous les métaux que le sodium chasse de leurs combinaisons doivent aussi y exister à l'état de liberté.

« Les nouveaux spectres que j'ai fait connaître pourront conduire à constater dans l'atmosphère solaire la présence du chlore, du brome, de l'iode, du phosphore, etc.

« D'un autre côté, de l'absence des raies d'un métal dans le spectre solaire on ne saurait conclure celle du métal lui-même dans l'atmosphère du soleil; il peut, en effet, s'y trouver des métaux, le lithium, par exemple, qui y sont engagés dans des combinaisons qui ne donnent pas de spectre. »

I fatti precedenti, parmi, che provino a sufficienza, che la spiegazione avanzata da Mitscherlich non è assolutamente valida. Infatti alla temperatura del sole, che vale a mantenere l'idrogeno, e perfino il sodio, liberi, e allo stato d'incandescenza, al di sopra dell'atmosfera, vi è certo abbastanza di calore, per disassociare i composti dei metalloidi, con che si renderebbero visibili, almeno, le righe più lunghe dei loro spettri. Invece, come si è veduto, non si è riscontrata, nello spettro solare, nessuna traccia di spettro a righe di metalloidi [1].

Come altra prova, che, nella fotosfera, non esistono composti di sorta, si può anche addurre la struttura dello spettro. Senza dubbio, se ve ne esistessero, essa sarebbe molto differente; l'estremità meno rifrangibile sarebbe, a mio giudizio, la più complicata, invece che la più semplice; e, seb-

[1] V. anche Ångström, *Recherches sur le spectre solaire.*

Digitized by Google

bene recentemente, il prof. Young, nello spettro di una macchia solare, abbia riscontrato certi fenomeni, che, si potrebbero credere favorevoli all'ipotesi, che dei composti entrino nelle macchie, i fatti generali, per non entrare nei particolari, pare che suggeriscono una diversa strada; nè io, nelle mie osservazioni delle macchie solari, ho mai veduto qualcosa, che rassomigli ai caratteri di uno spettro di composti. Tuttavia, son ben lontano dal volermi pronunziare, su questo punto, ed aspetto una macchia solare, in condizioni opportune, per decidere la questione, per mezzo della fotografia.

Aggiungerò, che, invocando le nostre cognizioni, si può conchiudere dalle osservazioni degli spettri stellari, fatte dal padre Secchi, che, se l'atmosfera di una stella contiene molecole composte, esse si rendono tosto chiaramente visibili. Secondo me, le atmosfere di parecchie stelle, i cui spettri sono stati da lui descritti [1], contengono, senza dubbio, molecole composte; e, forse, i fenomeni, presentati dalle stelle variabili, dipendono da un equilibrio instabile della temperatura, cosi che si ottiene, talvolta il debole spettro d'assorbimento a righe degli elementi *disassociati* della loro atmosfera, tal'altra l'intenso spettro a striscie degli elementi *associati*. A questa conclusione, che io traggo dalle mie osservazioni sulle righe lunghe e brevi, era arrivato, prima di me, Ångström, ragionando sopra dati meno precisi. L'idea del padre Secchi, che in quelle stelle predomini uno spettro di macchie [2], non mi pare che troverà conferma; epperò questo punto, d'estremo interesse, è ancora *sub judice*.

[1] Secchi, *Le Stelle*, p. 85 e seg.

[2] Secchi, *Le Soleil*, p. 288 e seg.

Digitized by Google

INDICE

A

Acqua, onde d' - 4.
Alluminio, sua relazione collo spettro degli altri metalli, 213.
Altezza, del suono - 15, 16.
Angström - 122, 131, 193, 222.
Arcobaleno - 30.
Argento, spettro dell' - 200.
— punto di fusione delle leghe d' - 203.
— leghe d' - e rame, uso dei campioni della zecca, 203.
Aria, compressione e rarefazione dell' - 15.
— moto delle particelle d' - 10.
Assaggio dell'oro, vantaggi relativi del nuovo e del vecchio metodo, 209.
Assorbimento, fenomeni d' - 31, 59, 67, 123.
— varie specie d' - 60.
Atmosfera, densità dell' - 21.
— relazione del suono coll' - 20.
Atomi delle sostanze chimiche, righe fondamentali degli - 191
Atomo, definizione dell' - 102.

B

Bario, esperimenti sul - 113.
Binarii, spettri dei composti - 175.
Bunsen, osservazioni del professor - 165, 136, 192.
— lampada di -, suo uso per mostrare l'azione del calore sui sali, 51.

C

Cadmio, spettro del - 133, 201.
Calcio, disassociazione del - 183.
— esperienze sull'estremità azzurra dello spettro del - 93.
— estremità azzurra dello spettro del - 177.
— relazione dello spettro del - con quelli degli altri metalli, 213.
Calcio e Stronzio, confronto delle righe, 212, 214.
— — relazioni chimiche, 212.
Calore, disassociazione delle particelle, mediante le onde di - 111.
— esperimenti col -, sulla disassociazione delle sostanze composte, 175.
— varii gradi di -, in relazione cogli spettri, 112.
Cannello, a gas ossidrico, 61
Chimici, natura composta degli elementi - 175.
— spettri degli elementi - 168.
Clark Maxwell, il professor - 102, 106, 125.
Clifford, spiegazione relativa agli atomi, del professor - 101.
Clifton, il professor -, suoi esperimenti, 182.
Cloruri, differenza fra lo spettro dei metalli e quello dei - 133.
Colori, dispersione normale ed anomala dei - 29..
Composta, fessura - 87.
Composti, disassociazione, per

Digitized by Google

Composti, mezzo del calore, dei corpi - 156, 174.
— esperienze sui corpi - 156.
— spettro dei corpi -, definito, come quello dei corpi semplici, 174.
Compressione, sfera di rarefazione e di - nelle onde sonore, 9.
Cromosfera, osservazioni sulla - 134. (V. anche Solare).

D

Daguerrotipia, la — 70.
Diacon, il professor - 165.
Draper, il dottor - 72, 73, 76, 86.

E

Elementari, natura composta dello spettro a righe dei corpi - 169.
Elementi, analisi chimica degli - 151.
— composizione degli - 153.
— distinzione fra - chimici e fisici, 154.
— relazione delle vibrazioni cogli - 155.
— spettri e righe degli - solari, 182.
Elettrica, lampada - 18.
— calore della luce - 26.
— dimostrazioni, per mezzo della luce - 19.
Elettricità, azione dell' - 158.
— diversi effetti del calore e dell' - 159.
— e vibrazione molecolare, 120.
Etere, mezzo di trasmissione, 23, 31.
— collisione della materia coi moti dell' - 26.
— moto delle particelle d' - 23.
— teoria dell' - 21.

F

Ferro, osservazioni sullo spettro del cadmio e del - 214.
— spettro del -, confronto con quello del sole, 98.
Fluorescenza, scoperta della - 71.
— spettro visibile per mezzo della - 78.
Fotografica, lastra - 16.
Fotosfera, costituzione chimica della - 231.

G

Gas, effetti della corrente elettrica sui - 19.
Gas, esame dello spettro dei - 55.
— teoria dinamica dei - 105, 110.

H

Herschel, sir Giovanni - 71, 72, 85.

I

Idrogeno, pressione dell' -, alla superficie del sole, 188.
— riga rossa dell' - nello spettro solare, 188.
— spettro a righe dell' - 188.
— studii di Plücker ed Hittorff sull' - 187.
Impurità, eliminazione delle righe d' - 215.
Invertente, strato, - del sole, elementi la cui presenza nello - è stata dimostrata, 228.
— elementi la cui presenza nello - è probabile, 229.
— elementi che mancano nello - 230.

K

Kirchhoff, osservazioni spettroscopiche del professor - 122, 165, 168, 186.

L

Lente, uso della — 13.
Luce, agitazioni della -, impresse colla fotografia, 32.
— assorbimento della - 31, 39.
— diffrazione della - 83.
— diversi effetti della — 18.
— l'occhio, ricevitore della - 18.
— natura complessa della - 28.
— qualità di - 33, 36.
— sorgenti di - 33.
— teoria corpuscolare della - 21.
— velocità della - 25.
Luce e suono, analogie fra - 30, 31, 32, 35.
— — sono dovuti a vibrazioni, 31, 35.
Luminose, onde - 16.
— — lunghezza delle - 24.
— — sistemi di - 23.

M

Magnesio esperimenti sul - 111.
— osservazioni sullo spettro del vapore di -, nel sole, 189, 193.
Mascart, il professor - 83.
Materia, disassociazione della -

Digitized by Google

solida, per mezzo del calore, 114.
Materia, ed energia, 2.
Metalli, combinazioni chimiche dei metalloidi coi - 141, 162.
— impurità dei - 211.
— semplificazione degli spettri più complessi dei - 217.
— spettri dei - 161, 162.
Metallici, spettri dei composti - 167.
— vapori -, nell'atmosfera solare 223; loro liste e carte, 224.
Metalloidi, spettro dei - 125.
Miller, il dottor - 79, 133.
Miscele meccaniche, esperimenti sulle - 138.
— — esperimenti sugli spettri delle - 194.
Mitscherlich, il prof. - 167, 170, 280.
Molecolari, condizioni -, e cambiamento di spettro - 110.
Molecole, corsa delle -, nei solidi, nei liquidi e nei gas - 103.
— definizione delle - 103.
— disassociazione delle -, semplici e composte, 161.
— incontri delle -, deboli e forti, 167.
— vibrazioni delle -, confronto col suono, 118.
Musicali, limiti dei suoni - 21.

N

Newton, 2, 21.

O

Occhio, l' - 16.
Olandese, società - delle scienze, 183.
Onde, V. acqua, luce, suono.
Oro, punto di fusione delle leghe d' - 203.
Oro e rame, leghe d' -, uso dei campioni della zecca, 200.
Ossidrico, cannello a gas - 61.

P

Particelle, ampiezza delle vibrazioni delle - 122.
— nostre cognizioni intorno alle vibrazioni delle - 130.
— vibrazioni delle - composte, 124.
Pianeti, colore dei - 19.
Prisma, azione del - 27.

R

Radiazione, fenomeni di - 51.
Radiazione, teoria della -, secondo Kirchhoff, 108.
Rame, punto di fusione delle leghe di - 203.
Rarefazione, 190.
Righe spettrali, modo di ottenere le - lunghe e brevi, 192.
— — modo di moltiplicare le - 192.
Righe, spettri a -, prodotti dall'elettricità, 109.
— — disassociazione degli - 114.
Robinson, il dottor - 133.
Roscoe, il professor - 168.

S

Sali, esperimenti sui - 147.
— metodo per osservare lo spettro a scintilla dei - 52.
— somiglianza degli spettri dei - nell'aria, 149
— di stronzio, spettro dei - 173.
Salet, il sig., sue ricerche sull'idrogeno - 121.
Scintilla nell'aria, spettro della - 120.
Secchi, il padre - occupazioni sugli spettri stellari - 232.
Sodio e litio - esperimenti sul, 145.
Sodio, arco orizzontale sul vapore di - 47.
— esperimenti sul - 168.
— metodo di osservare il - 67.
Solare, atmosfera -, metalli, che si trovano nella - 220.
— — il nichelio, visibile nella - 220.
— — presenza del cromo nella - 220.
— — presenza del vapore di sodio nella - 219.
Solare, cromosfera, esperimenti da laboratorio sulla - 189.
— — nuovo metodo per osservare la - 91.
— — osservazioni sulla - 189.
— — relazione fra le righe del magnesio e la - 189.
Solare, spettro - 75.
— — carattere delle righe dello - 177.
— — costituzione dello - 95.
— — facilità di trascurare le righe più sottili dello - 97.
— — fotografia di Rutherfurd dello, 84.
— — individualità delle righe dello - 192.
— — osservazioni di Kirchhoff e di Angström sullo - 222.
— — righe di Fraunhofer nello - 219.

Digitized by Google

Solari, elementi -, ricerche dei caratteri distintivi, 225.
Sole, costituzione chimica del - 219. (V. anche atmosfera solare.
— esame spettroscopico del - 188.
— metalli del - 192.
— prova dell'elevata temperatura del - 180.
— righe del calcio nello spettro del - 193.
Sonore, onde - 6.
— — costituzione delle - 10.
— — strati di - 9.
Sonore, vibrazioni - 12.
Sonori, fenomeni - 12-16.
Spettro, continuo, 37.
— dei corpi celesti, 41.
— dei metalli e dei metalloidi, sua relazione colla temperatura, 120.
— del rame, 138.
— del zinco, 136.
— delle soluzioni, 55.
— distinzione fra - continuo e discontinuo, 161.
— inversione dello - 121.
— relazione fra le varie condizioni molecolari e lo - 129.
— ultravioletto, 74
— uso quantitativo dello - 186.
Spettroscopio, 2, 43.
— analizzatore, 43.
— introduzione dello - 160.
— sussidio prestato dallo - alle industrie e alle scienze, 185.
— usi futuri dello - 98.
— uso dello -, in laboratorio, 43.
Spottiswoode, il signor « sulla polarizzazione della luce », 24.
Sprengel, pompa di - 69.
Stellari, composizione delle atmosfere - 232.
Stelle, costituzione delle - 39.
— fotografia degli spettri delle - 98.
Stokes, il prof. - 73, 73, 122, 132.
Stronzio, esperimenti sullo - 113.
Suono, propagazione del - 9.
— velocità del - 21.

T

Temperatura, relazione della - colla lunghezza delle righe - 172.
Thomson, sir William - 76.
— calcoli di - sulla grandezza degli atomi, 159.

V

Vapori, osservazioni sui - metallici, 61.
— radiazione dei - 80.
— relazione fra la densità dei - e lo spettro, 138.

W

Weinhold, il professor - 10, 11.
Wollaston, il dottor - 86.

Z

Zecca, esperimenti sui campioni della -, 202.
Zinco e cadmio, leghe di - 205.

Digitized by Google

CORREZIONI ED OSSERVAZIONI

Pag. 61	*riga* 6	*invece di*	parti	*si legga*	pareti
» 86	» 9	»	rete	»	reticolo
» 95	» 19, 25	»	strato d'inversione	»	strato invertente
» 112	» 19	»	color	»	calor
» 139	» 11	»	nello	»	dello
» 146	» 26	»	acido carbonico	»	idrogeno protocarbonato.

Pag. 41 Traduciamo *spectrum fluted or channelled* (spettro ondulato o scanalato), con *spettro a colonnato,* adottando l'espressione adoperata dal P. Secchi (*Le Stelle,* p. 97).

» 95 In luogo di strato invertente (*reversing layer*) si dice più comunemente strato assorbente (dai francesi *couche absorbante*). Abbiamo creduto di adottare l'appellativo inglese, che ci pare più significante.

Digitized by Google

Digitized by Google